









## METHOD FOR THE SELECTIVE PRODUCTION OF RACEMIC METALLOCENE COMPLEXES

**Patent number:** WO0200672  
**Publication date:** 2002-01-03  
**Inventor:** DAMRAU ROBERT [DE]; MUELLER PATRIK [DE]; ROYO EVA [DE]; BRINTZINGER HANS-HERBERT [CH]  
**Applicant:** BASELL POLYOLEFINE GMBH [DE];; DAMRAU ROBERT [DE];; MUELLER PATRIK [DE];; ROYO EVA [DE];; BRINTZINGER HANS H [CH]  
**Classification:**  
- international: C07F17/00; C07B31/00; C08F4/00  
- european: C07B53/00; C07F17/00; C08F10/00  
**Application number:** WO2001EP07389 20010628  
**Priority number(s):** DE20001030638 20000629

### Also published as:

 US2004010157 (A1)  
 DE10030638 (A1)  
 EP1294734 (B1)

### Cited documents:

 WO9209545  
 WO9502567  
 EP0970964  
 XP001024875  
 XP004093720  
more >>

### Abstract of WO0200672

The invention relates to a method for producing racemic metallocene complexes by reacting bridged or non-bridged transition metal complexes with cyclopentadienyl derivatives of alkaline or alkaline earth metals and optionally, subsequently substituting the phenolate ligands.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
3. Januar 2002 (03.01.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/00672 A1**

(75) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: C07F 17/00,  
C07B 31/00, C08F 4/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/07389

(22) Internationales Anmeldedatum:  
28. Juni 2001 (28.06.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
100 30 638.1 29. Juni 2000 (29.06.2000) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **BASELL POLYOLEFINE GMBH** [DE/DE]; Am  
Yachthafen 2, 77694 Kehl (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DAMRAU, Robert**  
[DE/DE]; Bodanstrasse 21, 78462 Konstanz (DE).  
**MÜLLER, Patrik** [DE/DE]; Erfurter Strasse 91, 67663  
Kaiserslautern (DE). **ROYO, Eva** [ES/DE]; Bodanplatz 3,  
78462 Konstanz (DE). **BRINTZINGER, Hans-Herbert**  
[DE/CH]; Unterdorfstrasse 17, 8274 Tägerwilen (CH).

(74) Anwalt: **BASELL POLYOLEFINE GMBH**; Intellectual  
Property, F 206, 67056 Ludwigshafen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,  
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ,  
LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN,  
MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI,  
SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU,  
ZA, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW),  
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,  
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,  
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),  
OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen  
eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR THE SELECTIVE PRODUCTION OF RACEMIC METALLOCENE COMPLEXES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR SELEKTIVEN HERSTELLUNG RACEMISCHER METALLOCENKOMPLEXE

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing racemic metallocene complexes by reacting bridged or non-bridged transition metal complexes with cyclopentadienyl derivatives of alkaline or alkaline earth metals and optionally, subsequently substituting the phenolate ligands.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Herstellung von racemischen Metallocenkomplexen durch Umsetzung von verbrückten oder nicht-verbrückten Übergangsmetallkomplexen mit Cyclopentadienylderivaten von Alkali- oder Erdalkalimetallen und gegebenenfalls anschließende Substitution der Phenolatliganden.



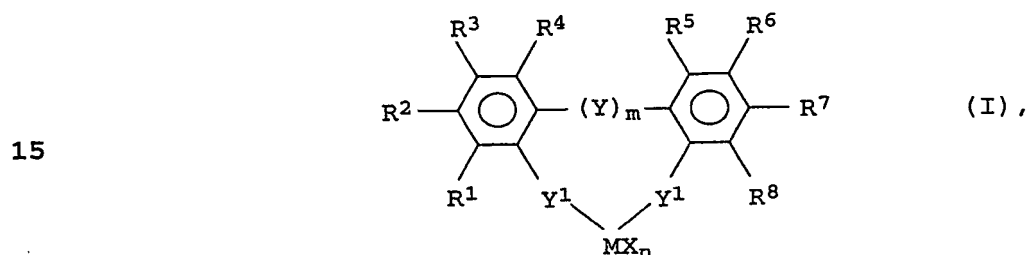
WO 02/00672 A1

# Verfahren zur selektiven Herstellung racemischer Metallocenkomplexe

## 5 Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von racemischen Metallocenkomplexen durch Umsetzung von verbrückten oder nicht-verbrückten Übergangsmetallaromatkomplexen

10 der allgemeinen Formel I



20 in der die Substituenten und Indizes folgende Bedeutung haben:

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| M                               | Titan, Zirkonium, Hafnium, Vanadium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, sowie Elemente der III. Nebengruppe des Periodensystems und der Lanthanoiden,   |
| 25                              |  |
| X                               | gleich oder verschieden Fluor, Chlor, Brom, Iod, Wasserstoff, C <sub>1</sub> - bis C <sub>10</sub> -Alkyl, C <sub>6</sub> - bis C <sub>15</sub> -Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6  |
| 30                              | bis 20 C-Atomen im Arylrest, -OR <sup>10</sup> oder -NR <sup>10</sup> R <sup>11</sup> ,  |
| n                               | eine ganze Zahl zwischen 1 und 4, wobei n der Wertigkeit von M minus der Zahl 2 entspricht,  |
| 35                              |  |
| R <sup>1</sup> , R <sup>8</sup> | gleich oder verschieden Wasserstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod, C <sub>1</sub> - bis C <sub>20</sub> -Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C <sub>1</sub> - bis C <sub>10</sub> -Alkyl als Rest tragen kann -, C <sub>6</sub> - bis C <sub>15</sub> -Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R <sup>9</sup> ) <sub>3</sub> mit R <sup>9</sup> gleich oder verschieden C <sub>1</sub> - bis C <sub>20</sub> -Alkyl, C <sub>3</sub> - bis C <sub>10</sub> -Cycloalkyl, C <sub>6</sub> - bis C <sub>15</sub> -Aryl, wobei die genannten Reste teilweise oder vollständig mit Heteroatomen substituiert sein können, |
| 40                              |  |
| 45                              |  |

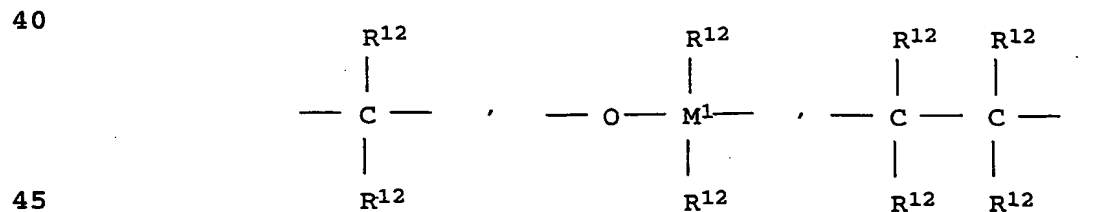
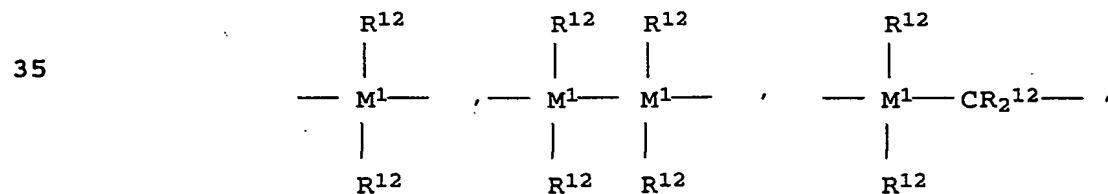
2

5 -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl

10 R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkylrest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Aryl-alkyl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, benachbarte Reste R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup> können für 4 bis 15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise gesättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen stehen, und die genannten Reste können vollständig oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein, -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl

30 R<sup>10</sup>, R<sup>11</sup> C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl, Aryl-alkyl, Fluoralkyl oder Fluoraryl mit jeweils 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest,

Y, Y<sup>1</sup> gleich oder verschieden

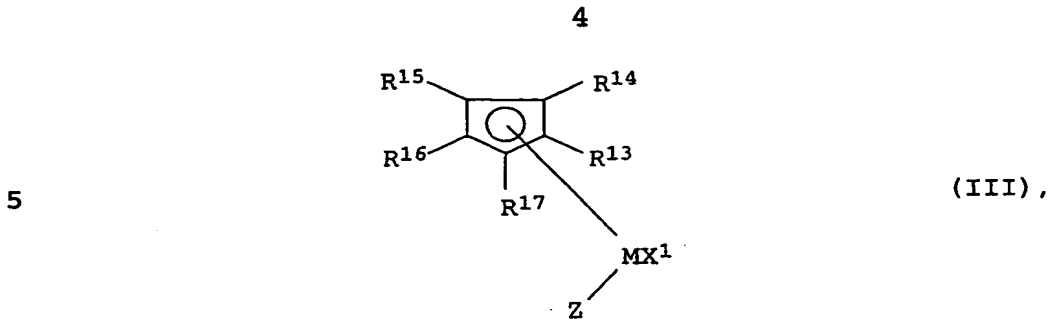


3

= BR<sup>12</sup>, = AlR<sup>12</sup>, -Ge-, -Sn-, -O-, -S-, = SO, = SO<sub>2</sub>,  
 = NR<sup>12</sup>, = CO, = PR<sup>12</sup> oder = P(O)R<sup>12</sup>,

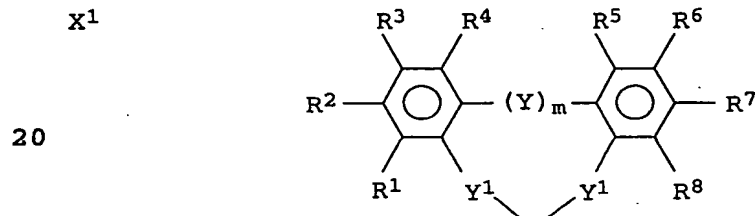
wobei

- 5 R<sup>12</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, Halogen,  
 C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Fluoralkyl, C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Fluoraryl,  
 C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Aryl, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkoxy, C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkenyl,  
 C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkyl, C<sub>8</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkenyl, C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Alkylaryl  
 bedeuten, oder wobei zwei Reste R<sup>12</sup> mit den sie  
 10 verbindenden Atomen einen Ring bilden,
- M<sup>1</sup> Silicium, Germanium oder Zinn ist und
- m 0, 1, 2, 3 bedeutet,
- 15 oder Y nicht-verbrückend ist und für zwei Reste R'  
 und R'' steht, wobei
- R' und R'' gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff,  
 20 Fluor, Chlor, Brom, Iod, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis  
 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis  
 C<sub>10</sub>-Alkyl als Rest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl,  
 Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6  
 25 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10  
 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Aryl-  
 rest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis  
 C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl,  
 oder zusammen mit benachbarten Resten R<sup>4</sup> oder R<sup>5</sup> für  
 4 bis 15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise  
 30 gesättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen  
 stehen, und die genannten Rest vollständig oder teil-  
 weise mit Heteroatomen substituiert sein können,
- 35 -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder  
 verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>-  
 bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>,  
 gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis  
 C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl
- 40 mit Cyclopentadienylderivaten von Alkali- oder Erdalkalimetallen,  
 erwärmen des so erhaltenen Reaktionsgemisches auf eine Temperatur  
 im Bereich von -78 bis 250°C, gegebenenfalls unter Zusatz von Ra-  
 dikalen oder Radikalbildnern und gegebenenfalls anschließende  
 Substitution des verbrückten phenolischen Liganden oder der bei-  
 45 den nicht verbrückten phenolischen Liganden zum Mono- oder Bisub-  
 stitutionsprodukt; racemische Metallocenkomplexe der allgemeinen  
 Formel III



10 in der die Substituenten und Indizes folgende Bedeutung haben:

M Titan, Zirkonium, Hafnium, Vanadium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, sowie Elemente der III. Nebengruppe des Periodensystems und der Lanthanoiden,



wobei:

25 R<sup>1</sup>, R<sup>8</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Rest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, wobei die genannten Reste teilweise oder vollständig mit Heteroatomen substituiert sein können, -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl

R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkylrest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Aryl-

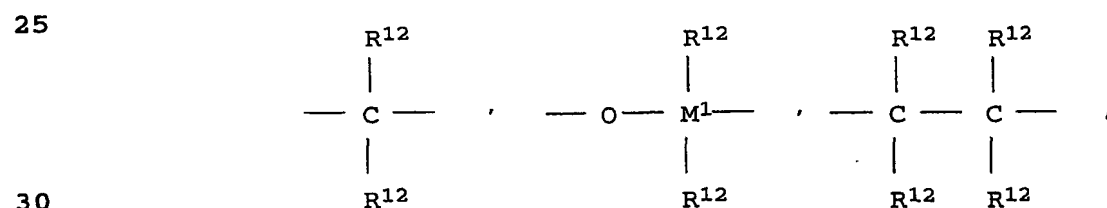
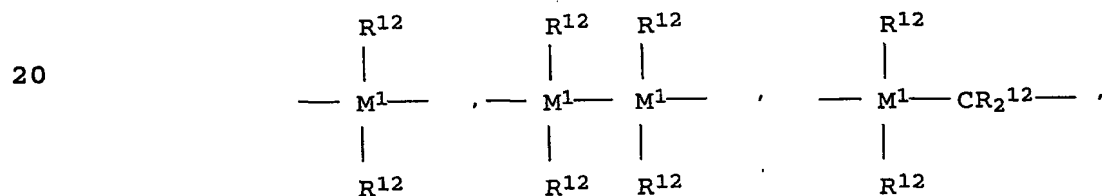
## 5

alkyl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest,  $\text{Si}(\text{R}^9)_3$  mit  $\text{R}^9$  gleich oder verschieden  $\text{C}_1$ - bis  $\text{C}_{20}$ -Alkyl,  $\text{C}_3$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Cycloalkyl,  $\text{C}_6$ - bis  $\text{C}_{15}$ -Aryl,

5 benachbarte Reste  $\text{R}^2$  bis  $\text{R}^7$  können für 4 bis 15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise gesättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen stehen und die genannten Reste können vollständig oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein,

10  $-\text{OR}^{27}$ ,  $-\text{SR}^{27}$ ,  $-\text{N}(\text{R}^{27})_2$ ,  $-\text{P}(\text{R}^{27})_2$ , mit  $\text{R}^{27}$ , gleich oder verschieden,  $\text{C}_1$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Alkyl,  $\text{C}_6$ - bis  $\text{C}_{15}$ -Aryl,  $\text{C}_3$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl oder  $\text{Si}(\text{R}^{28})_3$  mit  $\text{R}^{28}$ , gleich oder verschieden,  $\text{C}_1$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Alkyl,  $\text{C}_6$ - bis  $\text{C}_{15}$ -Aryl,  $\text{C}_3$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl

15  $\text{Y}$ ,  $\text{Y}^1$  gleich oder verschieden



=  $\text{BR}^{12}$ , =  $\text{AlR}^{12}$ , -Ge-, -Sn-, -O-, -S-, = SO, =  $\text{SO}_2$ ,  
=  $\text{NR}^{12}$ , = CO, =  $\text{PR}^{12}$  oder =  $\text{P}(\text{O})\text{R}^{12}$ ,

35 wobei

$\text{R}^{12}$  gleich oder verschieden Wasserstoff, Halogen,  $\text{C}_1$ - $\text{C}_{10}$ -Alkyl,  $\text{C}_1$ - $\text{C}_{10}$ -Fluoralkyl,  $\text{C}_6$ - $\text{C}_{10}$ -Fluoraryl,  $\text{C}_6$ - $\text{C}_{10}$ -Aryl,  $\text{C}_1$ - $\text{C}_{10}$ -Alkoxy,  $\text{C}_2$ - $\text{C}_{10}$ -Alkenyl,  $\text{C}_7$ - $\text{C}_{40}$ -Arylalkyl,  $\text{C}_8$ - $\text{C}_{40}$ -Arylalkenyl,  $\text{C}_7$ - $\text{C}_{40}$ -Alkylaryl  
40 bedeuten, oder wobei zwei Reste  $\text{R}^{12}$  mit den sie verbindenden Atomen einen Ring bilden,

$\text{M}^1$  Silicium, Germanium oder Zinn ist und

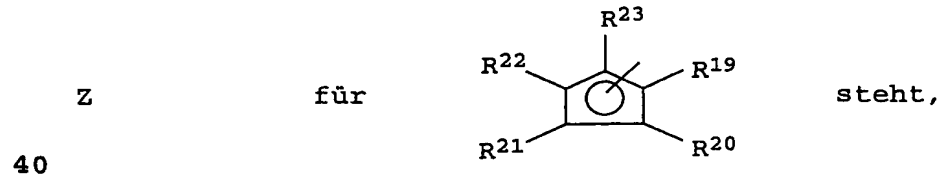
45 m 0, 1, 2, 3 bedeutet,



## 6

oder Y nicht-verbrückend ist und für zwei Reste R' und R'' steht, wobei

- R' und R''  
5 gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Rest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, oder zusammen mit benachbarten Resten R<sup>4</sup> oder R<sup>5</sup> für 4 bis 15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise gesättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen stehen, und die genannten Rest vollständig oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein können,
- 20 -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl
- 25 R<sup>13</sup> bis R<sup>17</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 5- bis 7-gliedriges Cycloalkyl, - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Substituent tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl oder Arylalkyl, wobei benachbarte Reste gemeinsam für 4 bis 15 C-Atome aufweisende cyclische Gruppen stehen können, oder
- 30 Si(R<sup>18</sup>)<sub>3</sub> mit
- R<sup>18</sup>  
35 gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl oder C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl,



wobei die Reste

- R<sup>19</sup> bis R<sup>23</sup>  
45 gleich oder verschieden Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 5- bis 7-gliedriges Cycloalkyl, - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Substituent tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl oder Arylalkyl

7

bedeuten, wobei benachbarte Reste gemeinsam für 4 bis 15 C-Atome aufweisende cyclische Gruppen stehen können, oder  $\text{Si}(\text{R}^{24})_3$  mit

5  $\text{R}^{24}$  gleich oder verschieden  $\text{C}_1$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Alkyl,  $\text{C}_6$ - bis  $\text{C}_{15}$ -Aryl oder  $\text{C}_3$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Cycloalkyl,

oder wobei die Reste

10  $\text{R}^{16}$  und Z gemeinsam eine Gruppierung  $-\text{T}(\text{R}^{25})(\text{R}^{26})_q\text{-E-}$  bilden, in der

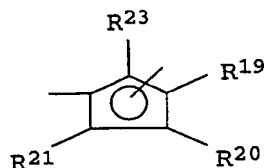
T gleich oder verschieden sein kann und für Silicium, Germanium, Zinn oder Kohlenstoff steht,

15  $\text{R}^{25}, \text{R}^{26}$  für Wasserstoff,  $\text{C}_1$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Alkyl,  $\text{C}_3$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Cycloalkyl oder  $\text{C}_6$ - bis  $\text{C}_{15}$ -Aryl

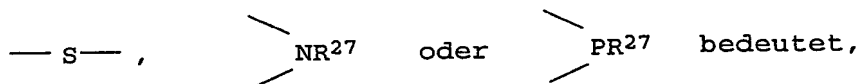
q für die Zahlen 1, 2, 3 oder 4,  
20

E für

25



oder A steht, wobei A  $\text{—O—}$ ,



30

mit  $\text{R}^{27}$  gleich oder verschieden  $\text{C}_1$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Alkyl,  $\text{C}_6$ - bis  $\text{C}_{15}$ -Aryl,  $\text{C}_3$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl oder  $\text{Si}(\text{R}^{28})_3$

35 mit  $\text{R}^{28}$  gleich oder verschieden  $\text{C}_1$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Alkyl,  $\text{C}_6$ - bis  $\text{C}_{15}$ -Aryl,  $\text{C}_3$ - bis  $\text{C}_{10}$ -Cycloalkyl oder Alkylaryl

und die Verwendung von racemischen Metallocenkomplexen gemäß Formel III als Katalysatoren oder als Bestandteil von Katalysatoren für die Polymerisation von olefinisch ungesättigten Verbindungen oder als Reagentien oder als Katalysatoren in der Stereoselektivensynthese.

45 Neben der stereospezifischen Olefinpolymerisation bietet in zunehmendem Maße die enantioselektive organische Synthese interessante Anwendungsmöglichkeiten für chirale Metallocenkomplexe von Metallen der III. - VI. Nebengruppe des Periodensystems der

## 8

Elemente. Beispielfhaft seien hier enantioselektive Hydrierungen prochiraler Substrate genannt, beispielsweise prochiraler Olefine, wie in R. Waymouth, P. Pino, J. Am. Chem. Soc. 112 (1990), S. 4911-4914 beschrieben, oder prochiraler Ketone, Imine und Oxime, wie in der WO 92/9545 beschrieben.

Weiterhin seien genannt die Herstellung optisch aktiver Alkene durch enantioselektive Oligomerisation, wie in W. Kaminsky et al., Angew. Chem. 101 (1989), S. 1304-1306 beschrieben, sowie die enantioselektive Cyclopolymerisation von 1,5-Hexadienen, wie in R. Waymouth, G. Coates, J. Am. Chem. Soc. 113 (1991), S. 6270 - 6271 beschrieben.

Die genannten Anwendungen erfordern im allgemeinen den Einsatz eines Metallocenkomplexes in seiner racemischen Form, d.h. ohne meso-Verbindungen. Von dem bei der Metallocensynthese des Standes der Technik anfallenden Diastereomergemisch (rac.- u. meso-Form) muß zunächst die meso-Form abgetrennt werden. Da die meso-Form verworfen werden muß, ist die Ausbeute an racemischem Metallocenkomplex gering.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es daher, ein Verfahren zur selektiven Herstellung von racemischen, praktisch (NMR-Meßgenauigkeit) meso-Isomer-freien Metallocenkomplexen zu finden.

Eine weitere Aufgabe war es, racemische Metallocenkomplexe zu finden, welche entweder direkt als oder in Katalysatoren, vornehmlich für die Olefinpolymerisation, verwendet werden können, oder die nach Modifizierung, beispielsweise nach der Substitution eines "Hilfsliganden", als, oder in Katalysatoren, vornehmlich für die Olefinpolymerisation, verwendet werden können, oder die als Reagenzien oder Katalysatoren in der stereoselektiven Synthese verwendet werden können.

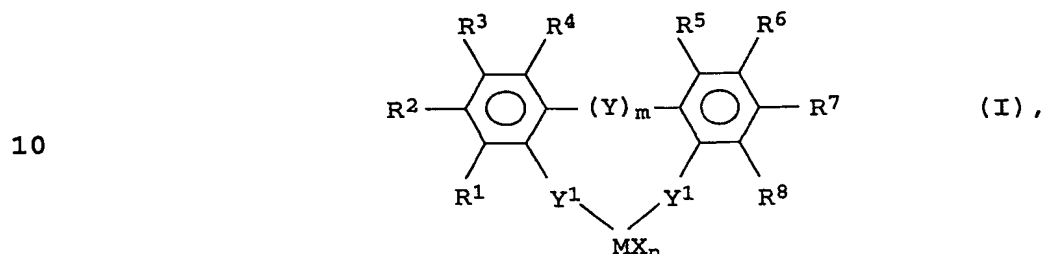
Demgemäß wurde das in den Patentansprüchen definierte Verfahren, die racemischen Metallocenkomplexe III, sowie deren Verwendung als Katalysatoren oder in Katalysatoren für die Polymerisation von olefinisch ungesättigten Verbindungen oder als Reagenzien oder Katalysatoren in der stereoselektiven Synthese gefunden.

Die Begriffe "meso-Form", "Racemat" und somit auch "Enantiomere" in Verbindung mit Metallocenkomplexen sind bekannt und beispielsweise in Rheingold et al., Organometallics 11 (1992), S. 1869 - 1876 definiert.

45

Der Begriff "praktisch meso-frei" wird hier so verstanden, daß mindestens 90 % einer Verbindung in Form des Racemats vorliegen.

Die erfindungsgemäßen, verbrückten oder unverbrückten Übergangs-  
5 metallaromatkomplexe haben die allgemeine Formel I

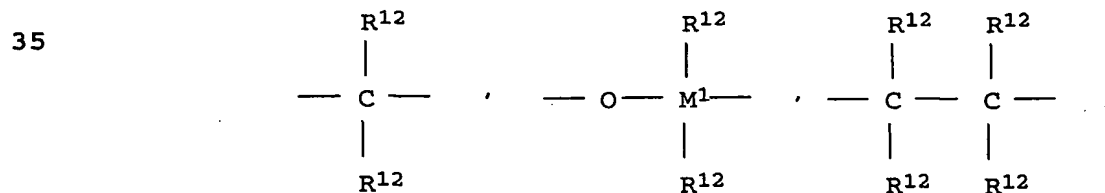
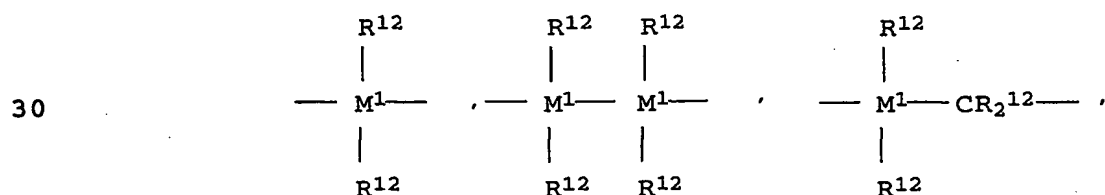


15 in der die Substituenten und Indizes folgende Bedeutung haben:

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| M                                  | Titan, Zirkonium, Hafnium, Vanadium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, sowie Elemente der III. Nebengruppe des Periodensystems und der Lanthanoiden,  |
| X                                  | gleich oder verschieden Fluor, Chlor, Brom, Iod, Wasserstoff, C <sub>1</sub> - bis C <sub>10</sub> -Alkyl, C <sub>6</sub> - bis C <sub>15</sub> -Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, -OR <sup>10</sup> oder -NR <sup>10</sup> R <sup>11</sup> ,   |
| n                                  | eine ganze Zahl zwischen 1 und 4, wobei n der Wertigkeit von M minus der Zahl 2 entspricht,   |
| 30 R <sup>1</sup> , R <sup>8</sup> | gleich oder verschieden Wasserstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod, C <sub>1</sub> - bis C <sub>20</sub> -Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C <sub>1</sub> - bis C <sub>10</sub> -Alkyl als Rest tragen kann -, C <sub>6</sub> - bis C <sub>15</sub> -Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R <sup>9</sup> ) <sub>3</sub> mit R <sup>9</sup> gleich oder verschieden C <sub>1</sub> - bis C <sub>20</sub> -Alkyl, C <sub>3</sub> - bis C <sub>10</sub> -Cycloalkyl, C <sub>6</sub> - bis C <sub>15</sub> -Aryl, wobei die genannten Reste teilweise oder vollständig mit Heteroatomen substituiert sein können, -OR <sup>27</sup> , -SR <sup>27</sup> , -N(R <sup>27</sup> ) <sub>2</sub> , -P(R <sup>27</sup> ) <sub>2</sub> , mit R <sup>27</sup> , gleich oder verschieden, C <sub>1</sub> - bis C <sub>10</sub> -Alkyl, C <sub>6</sub> - bis C <sub>15</sub> -Aryl, C <sub>3</sub> - bis C <sub>10</sub> -Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R <sup>28</sup> ) <sub>3</sub> mit R <sup>28</sup> , gleich oder verschieden, C <sub>1</sub> - bis C <sub>10</sub> -Alkyl, C <sub>6</sub> - bis C <sub>15</sub> -Aryl, C <sub>3</sub> - bis C <sub>10</sub> -Cycloalkyl, Alkylaryl |
- 20
- 25
- 35
- 40
- 45

## 10

- $R^2$  bis  $R^7$  gleich oder verschieden Wasserstoff,  $C_1$ - bis  $C_{20}$ -Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkylrest tragen kann -,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest,  $Si(R^9)_3$  mit  $R^9$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{20}$ -Alkyl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,
- benachbarte Reste  $R^2$  bis  $R^7$  können für 4 bis 15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise gesättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen stehen und die genannten Reste können vollständig oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein,
- $-OR^{27}$ ,  $-SR^{27}$ ,  $-N(R^{27})_2$ ,  $-P(R^{27})_2$ , mit  $R^{27}$ , gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl oder  $Si(R^{28})_3$  mit  $R^{28}$ , gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl
- $R^{10}$ ,  $R^{11}$   $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl, Alkylaryl, Arylalkyl, Fluoralkyl oder Fluoraryl mit jeweils 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest,
- $Y$ ,  $Y^1$  gleich oder verschieden



40  $= BR^{12}$ ,  $= AlR^{12}$ ,  $-Ge-$ ,  $-Sn-$ ,  $-O-$ ,  $-S-$ ,  $= SO$ ,  $= SO_2$ ,  
 $= NR^{12}$ ,  $= CO$ ,  $= PR^{12}$  oder  $= P(O)R^{12}$ ,

wobei

45  $R^{12}$  gleich oder verschieden Wasserstoff, Halogen,  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkyl,  $C_1$ - $C_{10}$ -Fluoralkyl,  $C_6$ - $C_{10}$ -Fluoraryl,  $C_6$ - $C_{10}$ -Aryl,  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkoxy,  $C_2$ - $C_{10}$ -Alkenyl,

## 11

C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkyl, C<sub>8</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkenyl, C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Alkylaryl bedeuten, oder wobei zwei Reste R<sup>12</sup> mit den sie verbindenden Atomen einen Ring bilden,

- 5 M<sup>1</sup> Silicium, Germanium oder Zinn ist und
- m 0, 1, 2, 3 bedeutet,
- oder Y nicht-verbrückend ist und für zwei Reste R' und R'' steht, wobei
- 10 R' und R'' gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Rest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, oder zusammen mit benachbarten Resten R<sup>4</sup> oder R<sup>5</sup> für 4 bis 15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise gesättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen stehen, und die genannten Rest vollständig oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein können.
- 15
- 20
- 25
- 30 -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl
- Bevorzugte Metalle M sind Titan, Zirkonium und Hafnium, insbesondere Zirkonium.
- 35 Gut geeignete Substituenten X sind Fluor, Chlor, Brom, Iod, vorzugsweise Chlor, weiterhin C<sub>1</sub>- bis C<sub>6</sub>-Alkyl, wie Methyl, Ethyl, n-Propyl, iso-Propyl, n-Butyl, sec.-Butyl, i-Butyl, vorzugsweise tert.-Butyl. Außerdem gut geeignet als Substituenten X sind
- 40 Alkoholate -OR<sup>10</sup> oder Amide -NR<sup>10</sup>R<sup>11</sup> mit R<sup>10</sup> oder R<sup>11</sup> C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl, Arylalkyl, Fluoralkyl oder Fluoraryl mit jeweils 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest. Derartige Reste X sind beispielsweise Methyl, Ethyl, i-Propyl, tert.-Butyl, Phenyl, Naphthyl, p-Tolyl, Benzyl, Trifluormethyl, Pentafluorphenyl.
- 45

## 12

Die Substituenten  $R^1$  und  $R^8$  sind gleich oder verschieden und bedeuten Wasserstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod,  $C_1$ - bis  $C_{20}$ -Alkyl,  $-OR^{27}$ ,  $-SR^{27}$ ,  $-N(R^{27})_2$ ,  $-P(R^{27})_2$ , mit  $R^{27}$ , gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cy-  
 5 cloalkyl, Alkylaryl oder  $Si(R^{28})_3$  mit  $R^{28}$ , gleich oder verschie-  
 den,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl,  
 Alkylaryl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein  
 $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkylrest, wie Methyl, Ethyl Propyl tragen kann. Bei-  
 10 spiele für derartigen Cycloalkylreste sind Cyclopropyl, Cyclo-  
 pentyl, vorzugsweise Cyclohexyl, Norbornyl. Weiterhin bedeuten  
 die Substituenten  $R^1$  und  $R^8$   $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl, wie Phenyl,  
 Naphthyl; Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis  
 20 C-Atomen im Arylrest, wie p-Tolyl; Arylalkyl mit 1 bis 10 C-  
 Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, wie  
 15 Benzyl, Neophyl oder sie bedeuten Triorganosilyl wie  $Si(R^9)_3$  mit  
 $R^9$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{20}$ -Alkyl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cyclo-  
 alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl, beispielsweise Trimethylsilyl, tert.-Bu-  
 tyldimethylsilyl, Triphenylsilyl. Die genannten Reste können  
 selbstverständlich auch teilweise oder vollständig mit Hetero-  
 20 atomen substituiert sein, beispielsweise mit S-, N-, O-, oder Ha-  
 logenatom-haltigen Strukturelementen. Exemplarisch seien für der-  
 artige substituierte Reste  $R^1$  und  $R^8$  genannt die Trifluormethyl-,  
 Pentafluorethyl-, Heptafluorpropyl-, Heptafluorisopropyl-, Penta-  
 fluorphenylgruppe.

25

Bevorzugte Substituenten  $R^1$  und  $R^8$  sind solche, die viel Raum in Anspruch nehmen. Üblicherweise nennt man solche Substituenten sperrige Substituenten. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß sie sterische Hinderung hervorrufen können.

30

Im allgemeinen versteht man unter diesen Gruppen kohlenstoff- oder siliziumorganische Reste mit hohem Raumbedarf (sperrige Reste), aber auch Fluor und vorzugsweise Chlor, Brom und Iod. Die Anzahl der Kohlenstoffatome die in derartigen kohlenstoff- oder  
 35 siliziumorganischen Resten enthalten sind, liegt üblicherweise nicht unter drei.

Bevorzugte nicht-aromatische, sperrige Reste sind solche kohlenstoff- oder siliziumorganischen Reste, die in  $\alpha$ -Stellung oder  
 40 höherer Stellung verzweigt sind. Beispiele für derartige Reste sind verzweigte  $C_3$ - bis  $C_{20}$ -aliphatische,  $C_9$ - bis  $C_{20}$ -arali-  
 phatische Reste und  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -cycloaliphatische Reste, wie iso-  
 Propyl, tert.-Butyl, iso-Butyl, neo-Pentyl, 2-Methyl-2-phenyl-  
 propyl (Neophyl), Cyclohexyl, 1-Methylcyclohexyl, Bicyclo[2.2.1]-  
 45 hept-2-yl (2-Norbornyl), Bicyclo[2.2.1]hept-1-yl (1-Norbornyl),  
 Adamantyl. Weiterhin kommen als solche Reste siliziumorganische  
 Reste mit drei bis dreißig Kohlenstoffatomen in Frage, beispiels-

## 13

weise Trimethylsilyl, Triethylsilyl, Triphenylsilyl, tert.-Butyl-dimethylsilyl, Tritolylsilyl oder Bis(trimethylsilyl)methyl.

Bevorzugte aromatische, sperrige Gruppen sind in der Regel C<sub>6</sub>- bis  
5 C<sub>20</sub>-Arylreste, wie Phenyl, 1- oder 2-Naphthyl oder vorzugsweise C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-alkyl- oder C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-cycloalkylsubstituierte aromatische Reste wie 2,6-Dimethylphenyl, 2,6-Di-tert.-Butylphenyl, Mesityl.

10 Ganz besonders bevorzugte Substituenten R<sup>1</sup> und R<sup>8</sup> sind i-Propyl, tert.-Butyl, Trimethylsilyl, Cyclohexyl, i-Butyl, Trifluormethyl, 3,5-Dimethylphenyl.

Im bevorzugten Substitutionsmuster sind R<sup>1</sup> und R<sup>8</sup> in Formel I  
15 gleich.

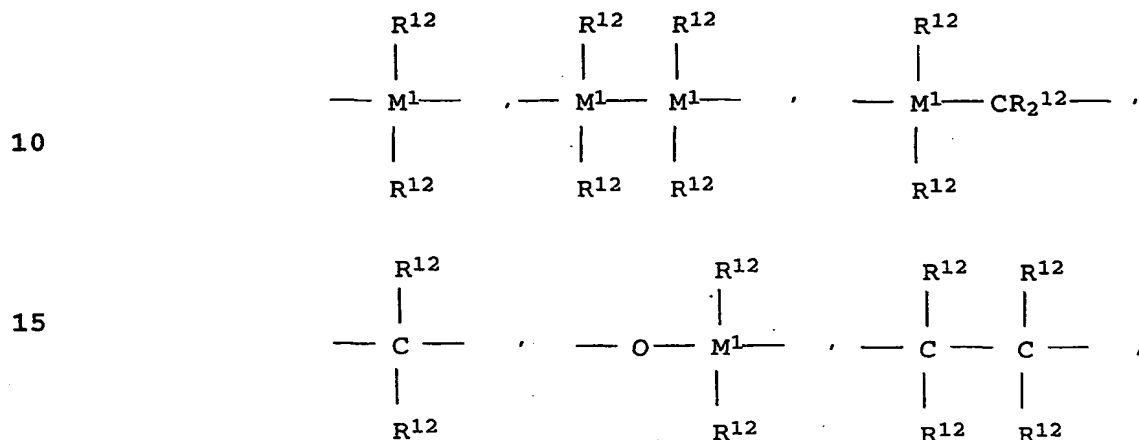
Die Substituenten R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup> sind gleich oder verschieden und bedeuten Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>-  
20 bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkylrest, wie Methyl, Ethyl, Propyl tragen kann. Beispiele für derartigen Cycloalkylreste sind  
25 Cyclopropyl, Cyclopentyl, vorzugsweise Cyclohexyl, Norbornyl. Weiterhin bedeuten die Substituenten R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup> C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, wie Phenyl, Naphthyl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, wie p-Tolyl, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Aryl-  
30 rest, wie Benzyl, Neophyl oder sie bedeuten Triorganosilyl wie Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, beispielsweise Trimethylsilyl, tert.-Butyldimethylsilyl, Triphenylsilyl. Die Reste R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup> können aber auch derartig miteinander verbunden sein, daß benach-  
35 barte Reste für 4 bis 15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise gesättigte oder ungesättigte cyclische Gruppen stehen. Vorzugsweise sind die Reste R<sup>3</sup> und R<sup>4</sup> und/oder die Reste R<sup>5</sup> und R<sup>6</sup> mit einer C<sub>2</sub>-Brücke derartig verbunden, daß ein benzoanelliertes Ringsystem (Naphthylderivat) entsteht. Die genannten Reste R<sup>2</sup> bis  
40 R<sup>7</sup> können selbstverständlich auch teilweise oder vollständig mit Heteroatomen substituiert sein, beispielsweise mit S-, N-, O-, oder Halogenatom-haltigen Strukturelementen. Exemplarisch seien für derartige substituierte Reste R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup> genannt die Trifluormethyl-, Pentafluorethyl-, Heptafluorpropyl-, Heptafluoriso-  
45 propyl-, Pentafluorphenylgruppe.



## 14

Besonders bevorzugt sind die Reste  $R^2$  und  $R^7$  gleich und bedeuten Wasserstoff und  $R^3$ ,  $R^4$ ,  $R^5$ ,  $R^6$  haben die bereits genannte Bedeutung.

5 Als Brückenglieder  $Y$ ,  $Y^1$  kommen die folgenden in Frage:



20 =  $BR^{12}$ , =  $AlR^{12}$ , -Ge-, -Sn-, -O-, -S-, = SO, =  $SO_2$ , =  $NR^{12}$ , = CO, =  $PR^{12}$  oder =  $P(O)R^{12}$ ,

wobei

25  $R^{12}$  gleich oder verschieden sind und ein Wasserstoffatom, ein Halogenatom, eine  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkylgruppe, eine  $C_1$ - $C_{10}$ -Fluoralkylgruppe, eine  $C_6$ - $C_{10}$ -Fluorarylgruppe, eine  $C_6$ - $C_{10}$ -Arylgruppe, eine  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkoxygruppe, eine  $C_2$ - $C_{10}$ -Alkenylgruppe, eine  $C_7$ - $C_{40}$ -Arylalkylgruppe, eine  $C_8$ - $C_{40}$ -Arylalkenylgruppe oder eine  $C_7$ - $C_{40}$ -Alkyl-  
 30 arylgruppe bedeuten oder  $R^{12}$  und  $R^{13}$  oder  $R^{12}$  und  $R^{14}$  jeweils mit den sie verbindenden Atomen einen Ring bilden,

35  $M^1$  Silicium, Germanium oder Zinn ist.

Für das erfindungsgemäße Verfahren ist eine Ringstruktur in (I) ( $m \neq 0$ ) von Vorteil, und Ringgrößen mit  $m = 1$  bis 3 sind bevorzugt.

40

Bevorzugte Brückenglieder  $Y$ ,  $Y^1$  sind Methylen  $-CH_2-$ , S, O,  $-C(CH_3)_2-$ , wobei  $m$  in Formel I vorzugsweise 1 oder 2 ist;  $Y^1$  ist ganz besonders bevorzugt gleich und bedeutet Sauerstoff  $-O-$ .

Bevorzugt sind auch Phenolattyp-Strukturen in welchen  $m$  in Formel  
 45 I 0 ist, das heißt, daß die aromatischen Ringsysteme direkt miteinander verknüpft sind, vorzugsweise zum Biphenolderivat.

## 15

Von den erfindungsgemäßen unverbrückten Übergangsmetallaromatkomplexen der allgemeinen Formel I sind diejenigen bevorzugt, in denen Y für Reste R' und R'' steht, die gleich oder verschieden sind und Fluor, Chlor, Brom, Iod, -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit  
5 R<sup>27</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl oder 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl-  
10 rest, wie Methyl, Ethyl, Propyl tragen kann - bedeuten. Beispiele für derartige Cycloalkylreste sind Cyclopropyl, Cyclopentyl, vorzugsweise Cyclohexyl, Norbornyl. Weiterhin bedeuten die Substituenten R' und R'' C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, wie Phenyl, Naphthyl; Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, wie p-Tolyl; Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, wie Benzyl, Neophyl oder sie bedeuten Triorganosilyl wie Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, beispielsweise Trimethylsilyl, tert.-Butyldimethylsilyl,  
20 Triphenylsilyl. Die genannten Reste können selbstverständlich auch teilweise oder vollständig mit Heteroatomen substituiert sein, beispielsweise mit S-, N-, O-, oder Halogenatom-haltigen Strukturelementen. Exemplarisch seien für derartige substituierte Reste R' und R'' genannt die Trifluormethyl-, Pentafluorethyl-,  
25 Heptafluorpropyl-, Heptafluorisopropyl-, Pentafluorphenylgruppe.

Bevorzugt sind R' und R'' gleich. Besonders bevorzugte unverbrückte Übergangsmetallaromatkomplexe sind solche, in welchen R<sup>1</sup>, R<sup>8</sup>, R' und R'' gleich sind, ein ganz besonders bevorzugtes Substitutionsmuster ist jenes in welchem R<sup>1</sup>, R<sup>3</sup>, R' und R<sup>6</sup>, R<sup>8</sup>, R'' H bedeuten und R<sup>2</sup>, R<sup>4</sup> und R<sup>5</sup>, R<sup>7</sup> die oben genannte Bedeutung, vorzugsweise tert.-Butyl, jedoch nicht H haben. Der phenolische Rest in (I) ist vorzugsweise ein Biphenolatrest, mit den oben beschriebenen Substitutionsmustern.

35 Die verbrückten oder nicht-verbrückten Übergangsmetallaromatkomplexe I werden im allgemeinen nach Methoden hergestellt, die dem Fachmann bekannt sind.

40 Die Synthese der verbrückten Übergangsmetallphenolatkomplexe ist beispielsweise in C. J. Schaverien, J. Am. Chem. Soc. (1995), Seiten 3008 bis 3012, beschrieben. Als gut geeignet hat sich hierbei folgendes Vorgehen erwiesen, wobei in der Regel im Temperaturbereich von -78 bis 110°C, vorzugsweise zunächst bei ca.  
45 20°C gearbeitet wird und die Reaktion dann durch Kochen am Rückfluß vervollständigt wird. Das Biphenol wird zunächst in einem Lösungsmittel, beispielsweise Tetrahydrofuran (THF) deprotoniert,

## 16

zum Beispiel mit Natriumhydrid oder n-Butyllithium, und anschließend die Übergangsmetallverbindung, beispielsweise das Halogenid, wie Titan-, Zirkonium- oder Hafniumtetrachlorid, vorteilhaft in Form des Bis-THF-Adduktes, hinzugegeben. Nach erfolgter Umsetzung  
5 wird das Produkt in der Regel nach Abtrennung von Salzen durch Auskristallisieren erhalten. Die Herstellung von nicht-verbrückten Übergangsmetallphenolatkomplexen kann beispielsweise nach H. Yasuda et. al, J. Organomet. Chem. 473 (1994), Seiten 105 bis 116 erfolgen.

10

Die erfindungsgemäßen, verbrückten oder nicht-verbrückten Übergangsmetallaromatkomplexe I enthalten in der Regel noch 1 bis 4 Äquivalente einer Lewis-Base, welche in der Regel über die Syntheseroute eingeschleppt wird. Als derartige Lewisbasen sind  
15 beispielsweise zu nennen Ether, wie Diethylether oder Tetrahydrofuran (THF) aber auch Amine wie TMEDA. Es ist aber auch möglich die Übergangsmetallaromatkomplexe Lewis-Basen-frei zu erhalten, beispielsweise durch Trocknung im Vakuum oder Wahl anderer Lösungsmittel bei der Synthese. Derartige Maßnahmen sind dem  
20 Fachmann bekannt.

Die erfindungsgemäßen racemischen Metallocenkomplexe werden hergestellt durch Umsetzung der verbrückten oder nicht-verbrückten Übergangsmetallaromatkomplexe I mit Cyclopentadienylderivaten der  
25 Alkali- oder Erdalkalimetalle und anschließender Erhitzung des so erhaltenen Reaktionsgemisches, gegebenenfalls in Gegenwart von Radikalen oder Radikalbildnern, wie im folgenden beschrieben.

Vorzugsweise setzt man Übergangsmetallaromatkomplexe I ein, in  
30 welchen M Zirkonium bedeutet und die Reste  $R^1$  und  $R^8$  die oben beschriebene, bevorzugte Bedeutung haben. Sehr gut geeignet sind Dichlorbis(3,5-di-tert.-Butylphenolatzirkon · (THF)<sub>2</sub>, Dichlorbis(3,5-di-tert.-Butylphenolat)zirkon · (DME), Dichlorbis(2,6-Dimethylphenolat)zirkon · (THF)<sub>2</sub>, Dichlorbis(2,6-Dimethylphenolat)  
35 zirkon (DME), Dichlorbis(2,4,6 Trimethylphenolat)zirkon · (THF)<sub>2</sub>, Dichlorbis(2,4,6 Trimethylphenolat)zirkon (DME) und die in den Beispielen genannten Zirkon-Phenolat-Verbindungen.

Prinzipiell kommen als Cyclopentadienylderivate der Alkali- oder  
40 Erdalkalimetalle diejenigen in Frage, welche nach der Umsetzung mit den erfindungsgemäßen, verbrückten Übergangsmetallaromatkomplexen I selektiv, praktisch meso-Isomeren-freie, racemische Metallocenkomplexe liefern.

45 Die erfindungsgemäßen racemischen Metallocenkomplexe können verbrückt sein, müssen es aber nicht sein. Es genügt im allgemeinen eine hohe Rotationsbarriere, insbesondere im Temperaturbereich

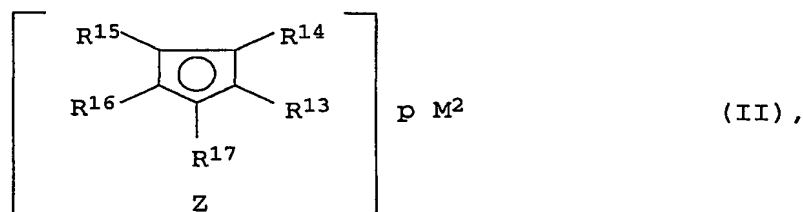
## 17

von 20 bis 80°C, (bestimmbar mit der Methode der  $^1\text{H}$  und/oder  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektroskopie) der unverbrückten Cyclopentadienyltyp-Liganden im Metallocen, damit die Metallocenkomplexe, direkt in ihrer racemischen Form isoliert werden können, ohne daß sie sich in die meso-Form umwandeln können. Die Rotationsbarriere, die dies gewährleistet, liegt üblicherweise über 20 kJ/mol.

Gut geeignete Cyclopentadienderivate von Alkali- oder Erdalkalimetallen sind solche der allgemeinen Formel II

10

15



in der die Substituenten und Indizes folgende Bedeutung haben:

20

20

25

30

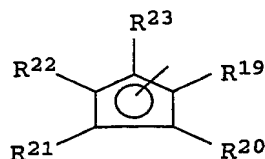
35

- $M^2$  Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba,
- $R^{13}$  bis  $R^{17}$  gleich oder verschieden Wasserstoff,  $C_1$ - bis  $C_{20}$ -Alkyl, 5- bis 7-gliedriges Cycloalkyl, das seinerseits ein  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl als Substituent tragen kann,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl oder Arylalkyl, wobei benachbarte Reste gemeinsam für 4 bis 15 C-Atome aufweisende cyclische Gruppen stehen können, oder  $\text{Si}(R^{18})_3$  mit
- $R^{18}$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl oder  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl,

Z

für

steht,



wobei die Reste

40

45

- $R^{19}$  bis  $R^{23}$  gleich oder verschieden Wasserstoff,  $C_1$ - bis  $C_{20}$ -Alkyl, 5- bis 7-gliedriges Cycloalkyl, das seinerseits ein  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl als Substituent tragen kann,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl oder Arylalkyl bedeuten, wobei benachbarte Reste gemeinsam für 4 bis 15 C-Atome aufweisende cyclische Gruppen stehen können, oder  $\text{Si}(R^{24})_3$  mit

18

$R^{24}$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl oder  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl,

oder wobei die Reste

5

$R^{16}$  und Z gemeinsam eine Gruppierung  $-[T(R^{25})(R^{26})]_n-E$  bilden, in der

T gleich oder verschieden sein kann und für Silicium, Germanium, Zinn oder Kohlenstoff steht,

10

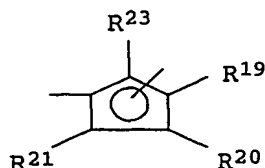
$R^{25}$ ,  $R^{26}$  für Wasserstoff,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl oder  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl

15

n für die Zahlen 1, 2, 3 oder 4,

20

E für



oder A steht, wobei A  $-O-$ ,

25



mit  $R^{27}$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl oder  $Si(R^{28})_3$

30

mit  $R^{28}$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl oder Alkylaryl,

wobei  $p = 1$  für Be, Mg, Ca, Sr, Ba und

35

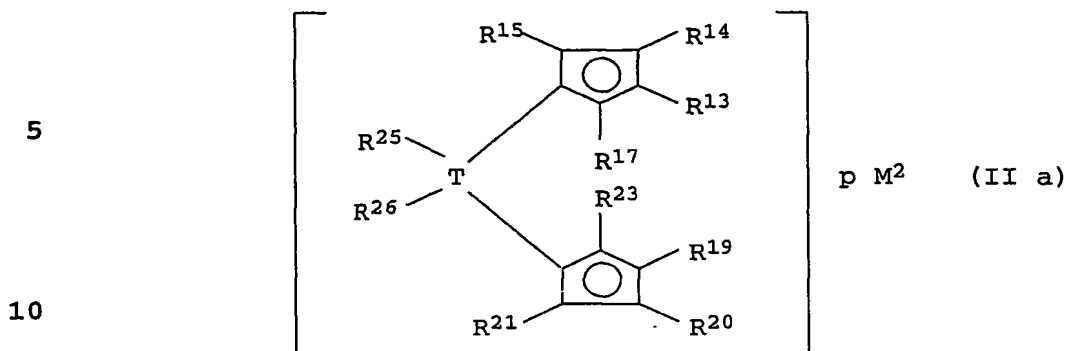
$p = 2$  für Li, Na, K, Rb, Cs.

Bevorzugte Verbindungen der Formel II sind solche in welchen  $M^2$  Lithium, Natrium und insbesondere Magnesium bedeutet. Ferner sind solche Verbindungen der Formel II a)

40

45

19



besonders bevorzugt in welchen M<sup>2</sup> Magnesium, R<sup>17</sup> und R<sup>23</sup> von Wasserstoff verschiedene Substituenten bedeuten, wie C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, also Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, sec.-Butyl, tert.-Butyl, i.-Butyl, Hexyl, weiterhin C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Aryl, wie Phenyl oder Trialkylsilyl, wie Trimethylsilyl, T(R<sup>25</sup>R<sup>26</sup>) für Bis-C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-alkylsilyl oder Bis-C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-arylsilyl steht wie Dimethylsilyl, Diphenylsilyl, weiterhin für 1,2-Ethyandiyl, Methylen und die Reste R<sup>13</sup> bis R<sup>15</sup> und R<sup>19</sup> bis R<sup>25</sup> die bereits genannte Bedeutung haben und insbesondere ein Indenyltyp-Ringsystem oder ein Benzoindenyltyp-Ringsystem bilden.

Ganz besonders bevorzugte Verbindungen II sind jene, welche in den Beispielen beschrieben werden und außerdem

Dimethylsilandiylbis(3-tert.-butyl-5-methylcyclopentadienyl) - magnesium

Diethylsilandiylbis(3-tert.-butyl-5-methylcyclopentadienyl) - magnesium

Dimethylsilandiylbis(3-tert.-butyl-5-ethylcyclopentadienyl) - magnesium

Dimethylsilandiylbis(3-tert.-pentyl-5-methylcyclopentadienyl) - magnesium

Dimethylsilandiylbis(2,4,7-trimethylindenyl)magnesium

1,2-Ethandiylbis(1-{2,4,7-trimethylindenyl})magnesium

Dimethylsilandiylbis(1-indenyl)magnesium

Dimethylsilandiylbis(4,5,6,7-tetrahydro-1-indenyl)magnesium

## 20

- Dimethylsilandiylbis (2-methylindenyl) magnesium
- Phenyl (methyl) silandiylbis (2-methylindenyl) magnesium
- 5 Diphenylsilandiylbis (2-methylindenyl) magnesium
- Dimethylsilandiylbis (2-methyl-4,5,6,7-tetrahydro-1-indenyl) -  
magnesium
- 10 Dimethylsilandiylbis (2,4-dimethyl-6-isopropylindenyl) magnesium
- Dimethylsilandiylbis (2-methyl-1-benzindenyl) magnesium
- Dimethylsilandiylbis (2-ethyl-1-benzindenyl) magnesium
- 15 Dimethylsilandiylbis (2-propyl-1-benzindenyl) magnesium
- Dimethylsilandiylbis (2-phenyl-1-benzindenyl) magnesium
- 20 Diphenylsilandiylbis (2-methyl-1-benzindenyl) magnesium
- Phenylmethylsilandiylbis (2-methyl-1-benzindenyl) magnesium
- Ethandiylbis (2-methyl-1-benzindenyl) magnesium
- 25 Dimethylsilandiylbis (2-methyl-1-tetrahydrobenzindenyl) magnesium
- Dimethylsilandiylbis (2-methyl-4-isopropyl-1-indenyl) magnesium
- 30 Dimethylsilandiylbis (2-methyl-4-phenyl-1-indenyl) magnesium
- Dimethylsilandiylbis (2-methyl-4-naphtyl-1-indenyl) magnesium
- Dimethylsilandiylbis (2-methyl-4-{3,5-trifluoromethyl}phenyl-1-  
35 indenyl) magnesium
- Dimethylsilandiylbis (2-ethyl-4-isopropyl-1-indenyl) magnesium
- Dimethylsilandiylbis (2-ethyl-4-phenyl-1-indenyl) magnesium
- 40 Dimethylsilandiylbis (2-ethyl-4-naphtyl-1-indenyl) magnesium
- Dimethylsilandiylbis (2-ethyl-4-{3,5-trifluoromethyl}phenyl-1-  
indenyl) magnesium
- 45 Ethandiylbis (2-methyl-4-phenyl-1-indenyl) magnesium

## 21

Ethandiylbis(2-methyl-4-naphthyl-1-indenyl)magnesium

Ethandiylbis(2-methyl-4-{3,5-di-(trifluoromethyl)}phenyl-1-indenyl)magnesium

5

Dimethylsilandiylbis(2-methyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

Dimethylsilandiylbis(2-methyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)-  
10 (2-isopropyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

Dimethylsilandiylbis(2-cyclohexyl-4-phenyl-indenyl)magnesium

Dimethylsilandiylbis(2-butyl-4-phenyl-indenyl)magnesium

15

Dimethylsilandiylbis(2-ethyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

Dimethylsilandiylbis(2-propyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)-  
20 magnesium

Diethylgermandiylbis(2-meth-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

Diethylsilandiylbis(2-methyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

Diethylsilandiylbis(2-butyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

30

Dimethylsilandiyl(2-methyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)-(4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

Dimethylsilandiylbis(2-butyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl-6-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)-magnesium

35

Dimethylsilandiylbis(2-isopropyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

Dimethylsilandiylbis(2-isopropyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

40

Dimethylsilandiyl(2-ethyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)-2-isopropyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

45



## 22

Dimethylsilandiyl(2-methyl-4-naphtyl-indenyl)-(2-isopropyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)magnesium

sowie die jeweiligen Lewis-Basenaddukte dieser vorstehend genannten Verbindungen mit beispielsweise THF, DME, TMEDA.

Derartige Alkali- oder Erdalkalimetallverbindungen II lassen sich nach literaturbekannten Methoden erhalten, beispielsweise durch die; vorzugsweise stöchiometrische, Umsetzung einer Organometall-  
10 verbindung oder eines Hydrids des Alkali- oder Erdalkalimetalls mit dem entsprechenden Cyclopentadienyltyp-Kohlenwasserstoff. Geeignete Organometallverbindungen sind beispielsweise n-Butyllithium, Di-n-butylmagnesium oder (n,s)-Dibutylmagnesium (Bomag).

- 15 Die Umsetzung der verbrückten oder nicht-verbrückten Übergangsmetallaromatkomplexe I mit den Cyclopentadienylderivaten von Alkali- oder Erdalkalimetallen, vorzugsweise der Formeln II oder IIa) findet üblicherweise in einem organischen Lösungs- oder Suspensionsmittel, vorzugsweise in einem Lösungsmittelgemisch, welches ein Lewis-basisches Lösungsmittel enthält im Temperaturbereich von - 78°C bis 250°C, vorzugsweise im Temperaturbereich von 0 bis 110°C statt. Gut geeignete Lösungsmittel sind aliphatische Kohlenwasserstoffe, wie Pentan, Hexan, Heptan, aromatische Kohlenwasserstoffe wie Toluol, ortho-, meta- oder para Xylol oder  
20 Isopropylbenzol (Cumol), Ether, wie Tetrahydrofuran (THF), Diethylether, Methyl-tert-Butylether oder Dimethoxyethan (DME), Amine wie Diisopropylamin, Tertramethylethandiamin (TMEDA) oder Pyridin. Gut geeignete Lösungsmittelgemische sind solche aus Toluol und THF, Toluol und DME oder Toluol und TMEDA, wobei die Lewis-  
25 Base im allgemein in einer Menge von 0,1 bis 50 mol-%, vorzugsweise 1 bis 20 mol-%, bezogen auf das Lösungsmittelgemisch, vorliegt. Das molare Verhältnis des Übergangsmetallaromatkomplexes I zu dem Cyclopentadienylderivat von Alkali- oder Erdalkalimetallen liegt üblicherweise im Bereich von 0,8 : 1 bis 1 : 1,2, vorzugsweise bei 1 : 1.  
35

- Es wurde gefunden, daß eine anschließende Erwärmung des Reaktionsgemisches, auf Temperaturen im Bereich von -78 bis 250°C, vorzugsweise 20 bis 150°C und insbesondere 80 bis 110°C und gegebenenfalls in Gegenwart von Radikalen oder Radikalbildnern schnell  
40 zu einer höheren Ausbeute, im allgemeinen 80 bis 100 %, vorzugsweise 95 bis 100 %, an racemischen Komplexen (I) führt. Als Radikale seien genannt Sauerstoff, 2,2'-6,6'-tetramethyl-Pyrimidin-N-Oxid (TEMPO). Als Radikalbildner sind alle diejenigen organischen und anorganischen Verbindungen geeignet, welche in dem oben genannten Temperaturintervall und/oder bei Bestrahlung zu Radikalen zerfallen, wie Peroxide, Diacylperoxide - beispielsweise Ben-  
45

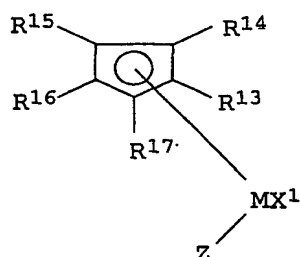
## 23

zoylperoxid, Acetylperoxyd - Peroxydicarbonate, Perester, Azoalkane, Nitrite, Hypochloride, Polyhalomethane, N-Chloramine. Besonders bevorzugt verwendet man TEMPO. Radikalbildner werden bevorzugt dann eingesetzt, wenn das Metallocen (I) als Cyclopentadienyl-Typ-Ligand ein benzoannelliertes Indenylsystem wie Dimethylsilyl-Bis(2-Methylbenzoindenyl) enthält.

Die erfindungsgemäßen, racemischen Metallocenkomplexe sind vorzugsweise solche der allgemeinen Formel III

10

15



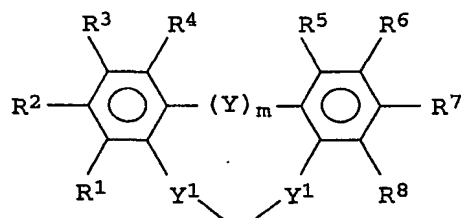
(III),

in der die Substituenten und Indizes folgende Bedeutung haben:

20

M Titan, Zirkonium, Hafnium, Vanadium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, sowie Elemente der III. Nebengruppe des Periodensystems und der Lanthanoiden,

25

X<sup>1</sup>

30

wobei:

35 R<sup>1</sup>, R<sup>8</sup>

40

45

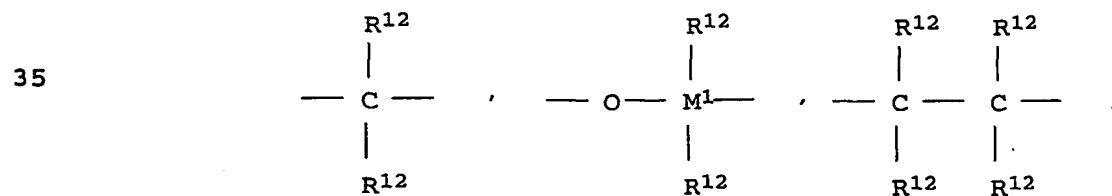
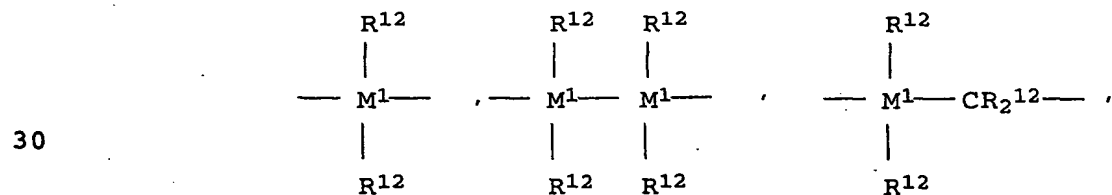
gleich oder verschieden Wasserstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Rest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, wobei die genannten Reste teilweise oder vollständig mit Heteroatomen substituiert sein können, -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis

## 24

C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>,  
gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis  
C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl

- 5 R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis  
C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das  
seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkylrest tragen kann -,  
C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im  
Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Aryl-  
alkyl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis  
10 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder  
verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl,  
C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl,  
15 benachbarte Reste R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup> können für 4 bis  
15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise  
gesättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen  
stehen und die genannten Reste können vollständig  
oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein,  
-OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder  
20 verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>-  
bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>,  
gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis  
C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl

- 25 Y, Y<sup>1</sup> gleich oder verschieden



- 40 = BR<sup>12</sup>, = AlR<sup>12</sup>, -Ge-, -Sn-, -O-, -S-, = SO, = SO<sub>2</sub>,  
= NR<sup>12</sup>, = CO, = PR<sup>12</sup> oder = P(O)R<sup>12</sup>,

wobei

- 45 R<sup>12</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, Halogen,  
C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Fluoralkyl, C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Fluoraryl,  
C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Aryl, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkoxy, C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkenyl,

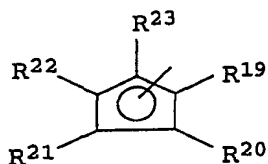
## 25

C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkyl, C<sub>8</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkenyl, C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Alkylaryl bedeuten, oder wobei zwei Reste R<sup>12</sup> mit den sie verbindenden Atomen einen Ring bilden,

- 5 M<sup>1</sup> Silicium, Germanium oder Zinn ist und
- m 0, 1, 2, 3 bedeutet,
- oder Y nicht-verbrückend ist und für zwei Reste R' und R'' steht, wobei
- 10 R' und R'' gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Rest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, oder zusammen mit benachbarten Resten R<sup>4</sup> oder R<sup>5</sup> für 4 bis 15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise gesättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen stehen, und die genannten Rest vollständig oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein können, -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl
- 15
- 20
- 25
- 30
- R<sup>13</sup> bis R<sup>17</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 5- bis 7-gliedriges Cycloalkyl, - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Substituent tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl oder Arylalkyl, wobei benachbarte Reste gemeinsam für 4 bis 15 C-Atome aufweisende cyclische Gruppen stehen können, oder Si(R<sup>18</sup>)<sub>3</sub> mit
- 35
- 40 R<sup>18</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl oder C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl,

45 Z

für



steht,

wobei die Reste

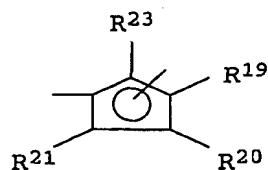
- 5  
 10  
 15
- $R^{19}$  bis  $R^{23}$  gleich oder verschieden Wasserstoff,  $C_1$ - bis  $C_{20}$ -Alkyl, 5- bis 7-gliedriges Cycloalkyl, - das seinerseits ein  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl als Substituent tragen kann -,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl oder Arylalkyl bedeuten, wobei benachbarte Reste gemeinsam für 4 bis 15 C-Atome aufweisende cyclische Gruppen stehen können, oder  $Si(R^{24})_3$  mit
- $R^{24}$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl oder  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl,

oder wobei die Reste

- 20  
 25  
 30
- $R^{16}$  und Z gemeinsam eine Gruppierung  $-[T(R^{25})(R^{26})]_q-E$  bilden, in der
- T gleich oder verschieden sein kann und für Silicium, Germanium, Zinn oder Kohlenstoff steht,
- $R^{25}$ ,  $R^{26}$  für Wasserstoff,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl oder  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl
- q für die Zahlen 1, 2, 3 oder 4,

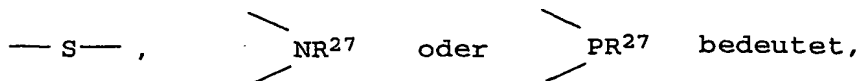
30

E für



oder A steht, wobei A  $-O-$ ,

35



- 40 mit  $R^{27}$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl oder  $Si(R^{28})_3$

- 45 mit  $R^{28}$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl oder Alkylaryl.

## 27

Bevorzugte Verbindungen der Formel III sind solche in welchen M Titan, Hafnium und insbesondere Zirkonium bedeutet. Ferner sind verbrückte Verbindungen der Formel III besonders bevorzugt (ansa-Metallocene) in welchen R<sup>17</sup> und R<sup>23</sup> von Wasserstoff verschiedene Substituenten bedeuten, wie C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, also Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, sec.-Butyl, tert.-Butyl, i.-Butyl, Hexyl, weiterhin C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Aryl, wie Phenyl oder Trialkylsilyl, wie Trimethylsilyl, T(R<sup>25</sup>R<sup>26</sup>) für Bis-C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-alkylsilyl oder Bis-C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-arylsilyl steht wie Dimethylsilyl, Diphenylsilyl, weiterhin für 1,2-Ethandiyl, Methylen und die Reste R<sup>13</sup> bis R<sup>15</sup> und R<sup>19</sup> bis R<sup>25</sup> die bereits genannte Bedeutung haben und insbesondere ein Indenyltyp-Ringsystem oder ein Benzoindenyltyp-Ringsystem bilden.

15 Ganz besonders bevorzugte Verbindungen III sind jene, welche in den Beispielen beschrieben werden, und außerdem

Dimethylsilandiylbis(3-tert.-butyl-5-methylcyclopentadienyl)zirkonium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

20

Diethylsilandiylbis(3-tert.-butyl-5-methylcyclopentadienyl)zirkonium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(3-tert.-butyl-5-ethylcyclopentadienyl)zirkonium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

25

Dimethylsilandiylbis(3-tert.-pentyl-5-methylcyclopentadienyl)zirkonium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

30 Dimethylsilandiylbis(2,4,7-trimethylindenyl)zirkonium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

1,2-Ethandiylbis(1-{2,4,7-trimethylindenyl})zirkonium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

35

Dimethylsilandiylbis(1-indenyl)Zirkonium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(4,5,6,7-tetrahydro-1-indenyl)zirkonium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

40

Dimethylsilandiylbis(2-methylindenyl)zirkonium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

45 Phenyl(methyl)silandiylbis(2-methylindenyl)zirkonium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

## 28

Diphenylsilandiylbis(2-methylindenyl)zirconium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-methyl-4,5,6,7-tetrahydro-1-indenyl)  
5 zirconium-3,3', 5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2,4-dimethyl-6-isopropylindenyl)  
zirconium-3,3', 5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

10 Dimethylsilandiylbis(2-methyl-1-benzindenyl)zirconium-3,3',  
5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-ethyl-1-benzindenyl)zirconium-3,3',  
5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

15 Dimethylsilandiylbis(2-propyl-1-benzindenyl)zirconium-3,3',  
5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-phenyl-1-benzindenyl)zirconium-3,3',  
20 5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Diphenylsilandiylbis(2-methyl-1-benzindenyl)zirconium-3,3',  
5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

25 Phenylmethylsilandiylbis(2-methyl-1-benzindenyl)zirconium-3,3',  
5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Ethandiylbis(2-methyl-1-benzindenyl)zirconium-3,3',5,5'-tetra-t-  
30 butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-methyl-1-tetrahydrobenzindenyl)zirconium-  
3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

35 Dimethylsilandiylbis(2-methyl-4-isopropyl-1-indenyl)zirconium-  
3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-methyl-4-phenyl-1-indenyl)zirconium-  
3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

40 Dimethylsilandiylbis(2-methyl-4-naphtyl-1-indenyl)zirconium-  
3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-methyl-4-{3,5-trifluoromethyl}phenyl-  
45 1-indenyl)zirconium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

## 29

Dimethylsilandiylbis(2-ethyl-4-isopropyl-1-indenyl) zirconium-  
3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-ethyl-4-phenyl-1-indenyl) zirconium-  
5 3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-ethyl-4-naphtyl-1-indenyl) zirconium-  
3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

10 Dimethylsilandiylbis(2-ethyl-4-{3,5-trifluoromethyl}phenyl-  
1-indenyl) zirconium- 3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Ethandiylbis(2-methyl-4-phenyl-1-indenyl) zirconium-3,3',5,5'- te-  
tra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

15

Ethandiylbis(2-methyl-4-naphtyl-1-indenyl) zirconium-3,3',5,5'-  
tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Ethandiylbis(2-methyl-4-{3,5-di-(trifluoromethyl)}phenyl-1-  
20 indenyl) zirconium-3,3',5,5'-tetra-t-butyl-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-methyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-  
idenyl) zirconium-3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat

25 Dimethylsilandiyl(2-methyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-idenyl)-  
(2-isopropyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)-zirconium-  
3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-cyclohexyl-4-phenyl-indenyl)  
30 zirconium-3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-butyl-4-phenyl-indenyl) zirconium-  
3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat

35 Dimethylsilandiylbis(2-ethyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)  
zirconium-3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-propyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)  
zirconium-3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat

40

Dimethylgermandiylbis(2-methyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)  
zirconium-3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat

Diethylsilandiylbis(2-methyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)-  
45 zirconium-3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat



## 30

Dimethylsilandiylbis(2-butyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)  
zirconium-3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiyl(2-methyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)-4-  
5 (4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)zirconium-3,3'5,5'tetra-  
tBu-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-butyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-6-  
(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)zirconium-3,3'5,5'tetra-  
10 tBu-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiylbis(2-isopropyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-  
indenyl)zirconium-3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat

15 Dimethylsilandiyl(2-ethyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)-  
(2-isopropyl-4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)zirconium-  
3,3'5,5'tetra-tBu-1,1'-bi-2-phenolat

Dimethylsilandiyl(2-methyl-4-naphthyl-indenyl)-(2-isopropyl-  
20 4-(4'-tert.-butyl-phenyl)-indenyl)zirconium-3,3'5,5'tetra-  
tBu-1,1'-bi-2-phenolat

Die racemischen Metallocenkomplexe, vorzugsweise jene der allge-  
meinen Formel III, lassen sich im allgemeinen weiter modifizie-  
25 ren.

Insbesondere kann beispielsweise ein verbrückter Biphenolatligand  
X<sup>1</sup> vollständig oder hälftig oder einer oder beide unverbrückten  
Phenolatliganden in dem Komplex III durch Mono- oder Bis-Substi-  
30 tution abgespalten und gegebenenfalls wiederverwendet werden. Ge-  
eignete Abspaltungs-(Substitutions-)methoden sind die Umsetzung  
der racemischen Metallocenkomplexe, vorzugsweise jene der allge-  
meinen Formel III mit SOCl<sub>2</sub>, Siliciumtetrachlorid, Methylaluminium-  
dichlorid, Dimethylaluminiumchlorid, Aluminiumtrichlorid einer  
35 Brönsted-Säure wie Halogenwasserstoff, also HF, HBr, HI, vorzugs-  
weise HCl, welche in der Regel in Substanz oder als Lösung in  
Wasser oder organischen Lösungsmitteln wie Diethylether, THF an-  
gewandt wird. Gut geeignete Lösungsmittel sind aliphatische Kohlen-  
wasserstoffe, wie Pentan, Hexan, Heptan, aromatische Kohlen-  
40 wasserstoffe wie Toluol, ortho-, meta- oder para Xylol oder Iso-  
propylbenzol (Cumol), Ether, wie Tetrahydrofuran (THF), Diethyle-  
ther, Methyl-tert-Butylether oder Dimethoxyethan (DME), Amine wie  
Diisopropylamin, Tertramethylethandiamin (TMEDA) oder Pyridin.  
Sehr gut geeignet sind Lewis-Base-haltige Lösungsmittelgemische  
45 aus Kohlenwasserstoffen und Ethern oder Aminen oder beidem, bei-  
spielsweise solche aus Toluol und THF, Toluol und DME oder Toluol  
und TMEDA; wobei die Lewis-Base im allgemein in einer Menge von

## 31

- 0,01-50 mol-%, vorzugsweise 0,1-10 mol-%, bezogen auf das Lösungsmittelgemisch, vorliegt. Besonders gut eignen sich Carbon-säurehalogenide wie Acetylchlorid, Phenylacetylchlorid, 2-Thio-phenacetylchlorid, Trichloracetylchlorid, Trimethylacetylchlorid, 5 O-Acetylmandelsäurechlorid, 1,3,5-Benzenetricarboxylicacidchlorid, 2,6-Pyridincarbonensäurechlorid, tert-Butylacetylchlorid, Chloroacetylchlorid, 4-Chlorobenzeneacetylchlorid, Dichloroacetylchlorid, 3-Methoxyphenylacetylchlorid, Acetyl bromid, Bromoacetyl bromid, Acetylfluorid, Benzoylfluorid, als "Abspaltungsreak- 10 genz", wobei diese in der Regel in den o.g. Lösungsmittel oder auch in Substanz verwendet werden. Hierbei entsteht üblicherweise das der Formel III analoge Di-Halogenid ( $X = F, Cl, Br, I$ ) oder bei teilweiser (hälftiger) Substitution des phenolischen Liganden ein Monohalogenid. Ein weiteres gut geeignetes Substitutions- 15 Verfahren ist die Umsetzung der racemischen Metallocenkomplexe, vorzugsweise jene der allgemeinen Formel III mit Organo-Aluminiumverbindungen wie Tri- $C_1$ -bis  $C_{10}$ -Alkylaluminium, also Trimethylaluminium, Triethylaluminium, Tri-n-butylaluminium, Tri-iso-butylaluminium. Hierbei entsteht nach derzeitigem Kenntnis- 20 stand im allgemeinen die zu III analoge Organo-Verbindung ( $X =$  organischer Rest, z.B.  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl, wie Methyl, Ethyl, n-Butyl, i-Butyl) und beispielsweise das Organo-Aluminiumbinaphtholat. Analog kann auch verfahren werden, wenn der Ligand  $X^1$  in dem Komplex III zwei nicht verbrückte Phenolatliganden ist. 25
- Bei den Spaltungsreaktionen werden die Komponenten üblicherweise im stöchiometrischen Verhältnis eingesetzt, davon abhängig, ob ein mono- oder disubstituiertes Produkt erhalten werden soll.
- 30 Die Spaltungsreaktionen finden im allgemeinen unter Erhaltung der Stereochemie der Metallocenkomplexe statt, das bedeutet, es findet im allgemeinen keine Umwandlung der racemischen Form in die meso-Form der Metallocenkomplexe statt. Vielmehr kann, insbesondere mit den oben beschriebenen Chlorierungsmethoden, die rac- 35 Selektivität gesteigert werden, wobei jedoch die Stereochemie der Ausgangs(bi)phenolat-Typ- oder Ausgangsbis-phenolat-Komplexe in der Regel erhalten bleibt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß es 40 sehr selektiv die racem-Form von Metallocenkomplexen zugänglich macht. Besonders vorteilhaft lassen sich verbrückte Indenyl- oder Benzoidenyltyp-Metallocene erhalten, welche in der Nachbarschaft des Brückenglieds (sogenannte 2-Stellung) einen von Wasserstoff verschiedenen Liganden haben.

Die erfindungsgemäßen racemischen Metallocenkomplexe, insbesondere jene der allgemeinen Formel III oder ihre, beispielsweise durch Substitution der Phenolatliganden zugänglichen, bereits beschriebenen Derivate lassen sich als Katalysatoren oder  
5 in Katalysatorsystemen für die Polymerisation von olefinisch ungesättigten Verbindungen, wie Ethylen, Propylen, 1-Buten, 1-Hexen, 1-Octen, Styrol, verwenden. Besonders vorteilhaft kommen sie zur Geltung bei der stereoselektiven Polymerisation von prochiralen, olefinisch ungesättigten Verbindungen, wie Propylen,  
10 Styrol. Geeignete Katalysatoren oder Katalysatorsysteme, in welchen die erfindungsgemäßen racemischen Metallocenkomplexe als "Metallocenkomponente" fungieren können, werden üblicherweise mittels metalloceniumionenbildenden Verbindungen enthalten, wie beispielsweise in EP-A-0 700 935, Seite 7, Zeile 34 bis Seite 8,  
15 Zeile 21 und Formeln (IV) und (V) beschrieben. Weitere metalloceniumionenbildenden Verbindungen sind Alumoxan  $(\text{AlO})_n$  wie Methylaluminoxan.

Die erfindungsgemäßen racemischen Metallocenkomplexe, insbesondere jene der allgemeinen Formel III oder ihre, beispielsweise durch Abspaltung der Phenolatliganden zugänglichen, bereits beschriebenen Derivate lassen sich weiterhin als Reagenzien oder als Katalysatoren oder in Katalysatorsystemen in der stereoselektiven, insbesondere organischen Synthese verwenden.  
25 Beispielsweise seien genannt die stereoselektive Reduktionen oder stereoselektiven Alkylierungen von C=C-Doppelbindungen oder C=O-, C=N-Doppelbindungen.

#### Beispiele

30

#### Abkürzungen:

bpo= 1,1'-Bi-2-Phenolat

bip = 3,3'-5,5'-tetra-t-Bu-1,1'-bi-2-Phenolat

35 Beispiele bei denen man rac-Selektivität durch thermische Isomerisierung erreicht.

#### Beispiel 1

Darstellung von rac- $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-ind})_2\text{Zr}[3,3',5,5'-(\text{t-Bu})_4-1,1'\text{-bi-}$   
40 2-phenolat]  
(rac- $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-ind})_2\text{Zr}(\text{bip})$  (4C)  
0.64g (1.95 mmol)  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-ind})_2\text{Li}_2$  und 1.39 g (1.95 mmol)  $\text{Cl}_2(\text{THF})_2\text{Zr}(\text{bip})$  wurden trocken vermischt und ca. 15 ml eines 10:1 Gemisches Toluol/THF (Volumenverhältnis) zugegeben. Die Reaktionsmischung wurde 12 h bei Raumtemperatur gerührt. Hierbei bildete sich eine orange-farbene Lösung und ein weißer Niederschlag.  
45 (LiCl). Das  $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum der Rohmischung zeigte ein Isomeren-

## 33

verhaeltnis von ca. 1:1. Die Reaktionsmischung wurde 5 h bei 80°C gerührt. Das  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum zeigte nun ein rac/meso-Verhaeltnis von ca. 16:1. Die Lösung wurde abfiltriert und das Lösungsmittelgemisch am Hochvakuum entfernt. Es wurden 1.17 g (74%)  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-ind})_2\text{Zr}(\text{bip})$  als gelber Schaum in einem rac/meso-Verhaeltnis von 16:1 NMR-spektroskopisch rein erhalten. Der gelbe Schaum wurde in Hexan aufgenommen und auf -30°C gekühlt. Nach einem Tag wurden durch Filtration 0.35 g (22%) rein racemisches  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-ind})_2\text{Zr}(\text{bip})$  als mikrokristallines gelbes Pulver erhalten.  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum in  $\text{C}_6\text{D}_6$  siehe Tabelle B.  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum in  $\text{C}_6\text{D}_6$  (25°C, 600 MHz) 161.1, 141.2, 135.3, 134.8, 134.3, 131.8, 130.9, 129.7, 126.0, 126.8, 124.9, 123.3, 121.8, 111.6, 92.4, 34.3, 32.5, 32.1, 31.8, 18.8, 2.55. Das Massenspektrum (EI-MS/ 70eV) zeigte Molekularionenpeak bei m/e 812-821 mit der typischen Isotopenverteilung. Elementaranalyse Gefunden: C 73.64% ; H 7.73 %; Zr 11.06. berechnet C 73.74 %; H 7.67 %; Zr 11.20%.

Tabelle B

$^1\text{H}$ -NMR-shifts für Komplex rac-4C (in ppm,  $\text{C}_6\text{D}_6$ , 25°C, 600 MHz)

		Zuordnung <sup>a</sup>
20	7.60 (d, 2H) $^3\text{J}$ (8.4 Hz)	$\text{C}_9\text{H}_5$ ( <u>H</u> 7, <u>H</u> 7')
	7.49 (d, 2H) $^4\text{J}$ (2.4 Hz)	$\text{C}_6\text{H}_2$ ( <u>H</u> 4, <u>H</u> 4')
	7.26 (d, 2H) $^3\text{J}$ (8.4 Hz)	$\text{C}_9\text{H}_5$ ( <u>H</u> 4, <u>H</u> 4')
	7.18 (d, 2H) $^4\text{J}$ (2.4 Hz)	$\text{C}_6\text{H}_2$ ( <u>H</u> 6, <u>H</u> 6')
25	6.85 (dd, 2H) $^3\text{J}$ (8.4 Hz) $^3\text{J}$ (7.2 Hz)	$\text{C}_9\text{H}_5$ ( <u>H</u> 6, <u>H</u> 6')
	6.77 (dd, 2H) $^3\text{J}$ (8.4 Hz) $^3\text{J}$ (7.2 Hz)	$\text{C}_9\text{H}_5$ ( <u>H</u> 5, <u>H</u> 5')
	5.83 (s, 2H)	$\text{C}_9\text{H}_5$ ( <u>H</u> 3, <u>H</u> 3')
	2.21 (s, 6H)	(2- <u>CH</u> 3- $\text{C}_9\text{H}_5$ )
	1.36, 1.33 (s, 18H)	( <u>CH</u> 3) <sub>3</sub> C
	0.80 (s, 6H)	( <u>CH</u> 3) <sub>2</sub> Si

30

<sup>a</sup> Zuordnung durch  $^1\text{H}$ -NMR-ROESY-Technik

## Beispiel 2

35 Synthese von  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-ind-4-Ph})_2\text{Zr}(3,3'\text{-5,5'}\text{-tetra-}^t\text{Bu-1,1'}\text{-bi-2-phenolat})$   
 $(\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-Ph-ind})_2\text{Zr}(\text{bip}))$

A) Synthese von  $\text{ZrCl}_4(\text{THF})_2$

40

Zu einer Suspension von g 4.99 (21.41mmol)  $\text{ZrCl}_4$  in 80 ml Toluol wurden bei 0°C (Eisbadkühlung) 3.1g (43.0 mmol) THF innerhalb 15 min. langsam zugetropft. Die Suspension wurde auf Raumtemperatur erwärmt und 1 h gerührt.

45

B) Synthese von  $(3,3'\text{-5,5'}\text{-tetra-}^t\text{Bu-1,1'}\text{-bi-2-phenolat})\text{Li}_2$

## 34

Zu einer Lösung von 8.79 g (21.4 mmol) 3,3'-5,5'-tetra-*t*Bu-1,1'-bi-2-phenol in 120 ml Toluol und 3.1g (43.0 mmol) THF wurden bei 0°C (Eisbadkühlung) 17.0 ml (45.56 mmol) einer 2.68 molaren BuLi-Lösung in Toluol innerhalb 20 min. langsam zugetropft. Die klare Lösung wurde auf Raumtemperatur erwärmt und 1 h gerührt.

C) Synthese von  $\text{Cl}_2\text{Zr}(3,3'-5,5'-\text{tetra-}t\text{Bu-1,1'-bi-2-pheno-}$   
 $\text{lat})(\text{THF})_2$

10

Zu der  $\text{ZrCl}_4(\text{THF})_2$ -Suspension aus Teilreaktion A) wurde unter Stickstoff mittels Kanüle die Dilithiumbipenolatlösung aus Teilreaktion B) zugegeben. Verbleibende Reste im Kolben an Dilithiumbipenolatlösung wurden mit 10 ml Toluol nachgespült. Die Suspension wurde 4h bei Raumtemperatur gerührt.

D) Synthese von  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-Ph-ind})_2\text{Li}_2$

Zu einer Lösung von 9.8 g (20.90 mmol)  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-Ph-indH})_2$  in 110ml Toluol und 5g (69.33 mmol) THF wurden bei Raumtemperatur 16.4 ml (43.95 mmol) einer 2.68 molaren BuLi-Lösung in Toluol innerhalb 20 min. langsam zugetropft. Die hellgelbe Suspension wurde auf 60°C erwärmt, 1h gerührt und auf Raumtemperatur gekühlt.

25

E) Synthese von  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-Ph-ind})_2\text{Zr}(\text{bip})$

Zu der  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-Ph-ind})_2\text{Li}_2$ -Suspension aus Teilschritt D) wurde bei Raumtemperatur die Suspension aus C) mittels Kanüle unter Stickstoff zugegeben. Nach vollständiger Zugabe färbte sich die Suspension gelb-orange. Die Reaktionsmischung wurde 12h bei Raumtemperatur gerührt. Ein  $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum der Reaktion zeigte ein rac-meso-Verhältnis von ca. 1:1. Die Suspension wurde 9h auf 85°C erwärmt. Die  $^1\text{H-NMR}$ -Spektroskopische Untersuchung der Rohmischung zeigte ein rac-meso-Verhältnis von ca. 15:1 ohne Anzeichen von Verunreinigungen oder Zersetzungsprodukten. Die Suspension wurde filtriert, der weiße Niederschlag mit wenig Toluol gewaschen und die vereinigten Filtrate unter Hochvakuum auf ca. 1/4 eingeengt. Nach einigen Tagen bildete sich ein orangener kristalliner Niederschlag, der durch Filtration und anschließender Trocknung isoliert wurde. Es wurden 8 g (39.5 %) rein racemisches  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-Ph-ind})_2\text{Zr}(\text{bip})$  erhalten. Durch analoges Vorgehen (mehrfaches kristallisieren) wurden insgesamt 17.1g (85 %) rein racemisches  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-Ph-ind})_2\text{Zr}(\text{bip})$  erhalten.

45

## 35

Elementaranalyse  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-Ph-ind})_2\text{Zr}(3,3'\text{-5,5'}\text{-tetra-}$   
 $\text{t-Bu-1,1'}\text{-bi-2-Phenol})$

Gefunden C: 77,0 %; H: 7.4. berechnet 77,0 %; H 7.3%

5  $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum in  $\text{C}_6\text{D}_6$  siehe Tabelle C.

Tabelle C

$^1\text{H-NMR}$ -shifts für Komplex (in ppm,  $\text{C}_6\text{D}_6$  25°C, 200 MHz)

		Anordnung
10	7.78 (d, 2H)	H (aromatisch)
	7.44 (d, 2H)	$\text{C}_6\text{H}_2\text{O}$ (bip)
	7.34-6.96 (m, 14H)	H (aromatisch)
	6.49 (d, 2H)	$\text{C}_6\text{H}_2\text{O}$ (bip)
	6.36 (s, 2H)	$\text{C}_5\text{H}$
	2.27 (s, 6H)	$\text{CH}_3$
15	1.32, (s, 18H)	$\text{C}(\text{CH}_3)_3$
	1.25 (s, 18H)	$\text{C}(\text{CH}_3)_3$
	0.99 (s, 6H)	$\text{Me}_2\text{Si}$

## Beispiel 3

20

Synthese von  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-(4-tBu-Ph-ind)})_2\text{Zr}(3,3'\text{-5,5'}\text{-tetra-tBu-}$   
 $1,1'\text{-bi-2-phenolat})$

$\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-(4-tBu-Ph)-ind})_2\text{Zr}(\text{bip})$

25 A) Synthese von  $\text{ZrCl}_4(\text{THF})_2$

Zu einer Suspension von 5.45 g ( 23.38 mmol)  $\text{ZrCl}_4$  in 100 ml  
 Toluol wurden bei 0°C (Eisbadkühlung) 3.8g (52.7 mmol) THF  
 innerhalb 15 min. langsam zugetropft. Die Suspension wurde  
 30 auf Raumtemperatur erwärmt und 1 h gerührt.

B) Synthese von  $(3,3'\text{-5,5'}\text{-tetra-tBu-1,1'}\text{-bi-2-phenolat})\text{Li}_2$

Zu einer Lösung von 9.6g (23.38 mmol)  $3,3'\text{-5,5'}\text{-tetra-tBu-}$   
 35  $1,1'\text{-bi-2-phenol}$  in 130 ml Toluol und 3.8 g (52.7 mmol) THF  
 wurden bei 0°C (Eisbadkühlung) 18.3 ml ( 49.1 mmol) einer  
 2.68 molaren BuLi-Lösung in Toluol innerhalb 20 min. langsam  
 zugetropft. Die klare hellgelbe Lösung wurde auf Raumtempera-  
 tur erwärmt und 1 h gerührt.

40

C) Synthese von  $\text{Cl}_2\text{Zr}(3,3'\text{-5,5'}\text{-tetra-tBu-1,1'}\text{-bi-2-phenolat})$   
 $(\text{THF})_2$

Zu der  $\text{ZrCl}_4(\text{THF})_2$ -Suspension aus Teilreaktion A) wurde unter  
 45 Stickstoff mittels Kanüle die Lithiumbiphenolatlösung aus  
 Teilreaktion B) zugegeben. Verbleibende Reste im Kolben wur-

den mit 10 ml Toluol nachgespült. Die Suspension wird 4h bei Raumtemperatur gerührt.

D) Synthese von  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-(4'-tBu-Ph)-ind})_2\text{Li}_2$

5

Zu einer Lösung von 13.0 g (22.38 mmol)  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-(4'-tBu-Ph)-indH})_2$  in 150 ml Toluol und 6 g (83.20 mmol) THF wurden bei Raumtemperatur 17.5 ml (46.9 mmol) einer 2.68 molaren BuLi-Lösung in Toluol innerhalb 20 min. langsam zugetropft  
 10 Die hellgelbe Suspension wurde auf 60°C erwärmt, 1h gerührt und auf Raumtemperatur gekühlt.

E) Synthese von  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-(4'-tBu-Ph)-ind})_2\text{Zr}(\text{bip})$

15

Zu der  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-(4'-tBu-Ph)-ind})_2\text{Li}_2$ -Suspension aus Teilschritt D) wurde bei Raumtemperatur die Suspension aus C) mittels Kanüle unter Stickstoff zugegeben. Nach vollständiger Zugabe färbte sich die Suspension gelblich. Die Reaktionsmischung wurde 12h bei Raumtemperatur gerührt. Ein  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum der Reaktion zeigte ein rac-meso-Verhältnis von ca. 1:2.  
 20 Die Suspension wurde 9h auf 85°C erwärmt. Die  $^1\text{H}$ -NMR-Spektroskopische Untersuchung der Rohmischung zeigte ein rac-meso-Verhältnis von ca. 15:1 ohne Anzeichen von Verunreinigungen oder Zersetzungsprodukten. Die Suspension wurde filtriert,  
 25 der weiße Niederschlag mit wenig Toluol gewaschen und die vereinigten Filtrate unter Hochvakuum auf ca. 1/4 eingeeengt. Durch mehrmaliges kristallisieren bei Raumtemperatur, Filtration und Trocknung wurden insgesamt 21.1g (88%) rein racemisches  $\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-(4'-t-Bu-Ph-ind})_2\text{Zr}(\text{bip})$  erhalten.

30

$\text{Me}_2\text{Si}(2\text{-Me-4-(4'-t-Bu-PH})_2\text{Zr}(3,3'-5,5'-\text{tetrat-t-Bu-1,1'-bi-2-Phenol})$

$^1\text{H}$ -NMR-Verschiebungen (in ppm,  $\text{C}_6\text{D}_6$  25°C, 200 MHz)

35

40

45

7.76 (m, 4H)	$\text{H}_{\text{arom.}}$
7.76 (m, 4H)	$\text{H}_{\text{arom.}}$
7.47 (d, 2H)	$\text{C}_6\text{H}_2$ (Biphenol)
7.35-6.95 (m, 10H)	$\text{H}_{\text{arom.}}$
6.56 (d, 2H)	$\text{C}_6\text{H}_2$ (Biphenol)
6.34 (s, 2H)	$\text{C}_5\text{H}$
2.26 (s, 6H)	$\text{CH}_3$
1.33 (s, 18H)	$(\text{CH}_3)_3\text{C}$
1.28 (s, 18H)	$(\text{CH}_3)_3\text{C}$
1.27 (s, 18H)	$(\text{CH}_3)_3\text{C}$
0,99 (s, 6H)	$\text{Me}_2\text{Si}$

## 37

Beispiel bei dem man rac-Selektivität durch Zugabe von Radikalquellen und Erhitzen erreicht (Isomerisierung)

Beispiel 4) Synthese von rac-Me<sub>2</sub>Si(2-Me-benz[e]ind)<sub>2</sub>Zr(bip) (5C)

5

0.89g (2.10 mmol) Me<sub>2</sub>Si(2-Me-benz[e]ind)<sub>2</sub>Li<sub>2</sub> und 1.50g (2.10 mmol) Cl<sub>2</sub>(THF)<sub>2</sub>Zr(bip) wurden trocken vermischt und ca. 15 ml eines 10:1 Gemisches Toluol/THF (Volumenverhältnis) zugegeben. Die Reaktionsmischung wurde 12 h bei Raumtemperatur gerührt. Hierbei bildete sich eine orange-farbene Lösung und ein weißer Niederschlag. (LiCl). Das <sup>1</sup>H-NMR-Spektrum der Rohmischung zeigte ein Isomerenverhaeltnis von ca. 1:1. Die Reaktionsmischung wurde filtriert. Zum Filtrat wurden bei Raumtemperatur 0.30g (1.92 mmol) TEMPO hinzugegeben und die Reaktionsmischung 1 h auf 75°C erwärmt. Das <sup>1</sup>H-NMR-Spektrum der Rohmischung zeigte rein racemisches Me<sub>2</sub>Si(2-Me-benz[e]ind)<sub>2</sub>Zr(bip). Durch Einengen der Lösung am Hochvakuum und mehrfaches kristallisieren bei Raumtemperatur wurden insgesamt 1.6g, (1.76 mmol; 84%) rac-Me<sub>2</sub>Si(2-Me-benz[e]ind)<sub>2</sub>Zr(bip) erhalten.

20

<sup>1</sup>H-NMR-Spektrum in CDCl<sub>3</sub> siehe Tabelle E. <sup>13</sup>C-NMR-Spektrum in CDCl<sub>3</sub> (25°C, 600 MHz) 158.1, 139.1, 133.3, 133.1, 131.8, 131.6, 130.1, 128.9, 128.2, 127.6, 127.2, 126.4, 125.6, 124.1, 124.0, 121.2, 110.8, 97.3, 35.3, 34.0, 33.1, 31.8, 19.1, 2.9.. Das Massenspektrum (EI-MS/ 70eV) zeigt Molekularionenpeak bei m/e 906-915 mit der typischen Isotopenverteilung. Elementaranalyse Gefunden: C 75.9 % ; H 7.09 %; Zr 9.83. berechnet C 76.18 %; H 7.27 %; Zr 9.97 %.

30 Tabelle E

<sup>1</sup>H-NMR-shifts für Komplex rac-5C (in ppm, CDCl<sub>3</sub>, 25°C, 600 MHz)

			Zuordnung <sup>a</sup>
35	7.62 (d, 2H)	<sup>3</sup> J (8.5 Hz)	C <sub>13</sub> H <sub>7</sub> (H8/9, H8'/9')
	7.47 (d, 2H)	<sup>3</sup> J (7.8 Hz)	C <sub>13</sub> H <sub>7</sub> (H7, H7')
	7.19 (d, 2H)	<sup>3</sup> J (8.5 Hz)	C <sub>13</sub> H <sub>7</sub> (H8/9, H8'/9')
	7.11 (d, 2H)	<sup>4</sup> J (2.5 Hz)	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (H4/6, H4'/6')
	7.10 (dd, 2H)	<sup>3</sup> J (7.8 Hz) <sup>3</sup> J (7.3 Hz)	C <sub>13</sub> H <sub>7</sub> (H6, H6')
	6.95 (dd, 2H)	<sup>3</sup> J (7.9 Hz) <sup>3</sup> J (7.3 Hz)	C <sub>13</sub> H <sub>7</sub> (H5, H5')
	6.65 (d, 2H)	<sup>3</sup> J (7.9 Hz)	C <sub>13</sub> H <sub>7</sub> (H4, H4')
	6.34 (s, 2H)		C <sub>13</sub> H <sub>7</sub> (H3, H3')
	6.24 (d, 2H)	<sup>4</sup> J (2.5 Hz)	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (H4/6, H4'/6')
	2.63 (s, 6H)		(2-CH <sub>3</sub> -C <sub>13</sub> H <sub>7</sub> )
40	1.38 (s, 6H)		(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Si
	1.28, 1.02 (s, 18H)		(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C

<sup>a</sup> Zuordnung durch <sup>1</sup>H-NMR-ROESY-Technik

45



## 38

## Beispiele zur Abspaltung von Phenolaten an ansa-Metallocenbisphenolatkomplexen

## Beispiel 5

5

Darstellung von  $\text{Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{ZrCl}_2$  durch Umsetzung von  $\text{Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{Zr}(\text{3,5-Me}_2\text{-OC}_6\text{H}_3)_2$  mit  $\text{CH}_3\text{COCl}$ .

Zu einer Lösung von 2.8 g (3.74 mmol)  $\text{rac-Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{Zr}(\text{3,5-Me}_2\text{-OC}_6\text{H}_3)_2$  in 48 g Toluol und 0.6 g (8.3 mmol) THF wurden bei Raumtemperatur 0.63 g (8.02 mmol) Acetylchlorid in 13 g Toluol bei Raumtemperatur zugetropft. Die Lösung wurde 2 Tage bei Raumtemperatur gerührt. Die leicht orangene Lösung färbte sich zunehmend gelb. Nach einigen Stunden ist die Bildung eines hellgelben kristallinen Niederschlages zu beobachten. Das  $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum zeigte neben den Resonanzen des 3,5-Me<sub>2</sub>-Phenolmethylesters Signale rein racemischen  $\text{Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{ZrCl}_2$ . Der hellgelbe kristalline Niederschlag wurde durch Filtration isoliert, mit wenig Toluol gewaschen und im Hochvakuum getrocknet. Hierbei werden 1.97 g (3.42 mmol) (92%) rein racemisches  $\text{Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{ZrCl}_2$  analysenrein erhalten.

Darstellung von  $\text{Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{Zr}(\text{3,5-Me}_2\text{-OC}_6\text{H}_3)\text{Cl}$  durch Umsetzung von  $\text{Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{Zr}(\text{3,5-Me}_2\text{-OC}_6\text{H}_3)_2$  mit  $\text{CH}_3\text{COCl}$ .

Zu einer Lösung von 2.5 g (3.34 mmol)  $\text{rac-Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{Zr}(\text{3,5-Me}_2\text{-OC}_6\text{H}_3)_2$  in 60 g Toluol und 0.25 g (3.4 mmol) THF wurden bei Raumtemperatur 0.26 g (3.34 mmol) Acetylchlorid in 10 g Toluol bei Raumtemperatur zugetropft. Die Lösung wurde 2 Tage bei Raumtemperatur gerührt. Die leicht orangene Lösung färbte sich zunehmend gelb. Das  $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum zeigte neben den Resonanzen des 3,5-Me<sub>2</sub>-Phenolmethylesters Signale rein racemischen  $\text{Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{Zr}(\text{3,5-Me}_2\text{-OC}_6\text{H}_3)\text{Cl}$ . Die Lösung wurde am Hochvakuum auf ca 1/4 eingeeengt. Nach einigen Tagen bildete sich ein hellgelber kristalliner Niederschlag der filtriert, mit wenig Toluol gewaschen und im Hochvakuum getrocknet wurde, hierdurch wurden 2.0g (90 %) rein racemisches  $\text{Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{Zr}(\text{3,5-Me}_2\text{-OC}_6\text{H}_3)\text{Cl}$  analysenrein erhalten.

40

Elementaranalyse  $\text{Me}_2\text{Si}(\text{Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{ZrCl}(\text{3,5-di-Me-Phenolat})$   
Gefunden C: 67.5 %; H: 5.3. berechnet C 68,8 %; H 5.3 %

$\text{Me}_2\text{Si}(\text{2-Me-benz}[\text{e}]\text{ind})_2\text{ZrCl}(\text{3,5-di-Me-Phenolat})$

45  $^1\text{H-NMR}$ -Verschiebungen (in ppm,  $\text{CDCl}_3$ , 25°C, 200 MHz)

39

	7.90 (d, 1H)	H <sub>arom.</sub>
	7.78 (d, 1H)	H <sub>arom.</sub>
	7.70-6.88 (11m, H)	H <sub>arom.</sub>
5	6.69 (s, 1H)	C <sub>5</sub> H oder C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (4-Position Phenolat)
	6.33 (s, 1H)	C <sub>5</sub> H oder C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (4-Position Phenolat)
	5.81 (s, 2H)	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (2,6-Position Phenolat)
	2.29 (s, 3H)	CH <sub>3</sub>
10	2.20 (s, 3H)	CH <sub>3</sub>
	2.12 (s, 6H)	3,5-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (Phenolat)
	0.95 (s, 3H)	Me <sub>2</sub> Si
	0,89 (s, 3H)	Me <sub>2</sub> Si

15

20

25

30

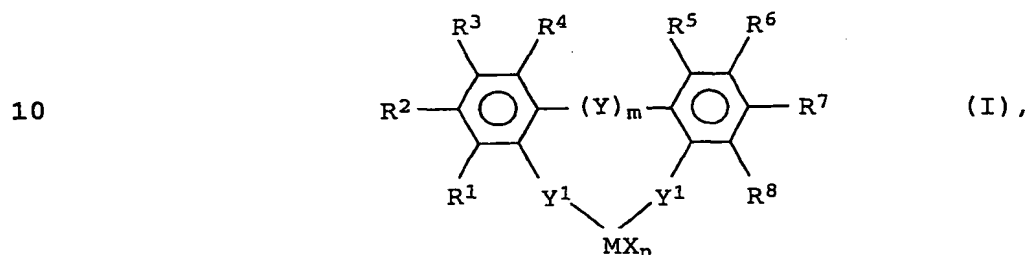
35

40

45

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von racemischen Metallocenkomplexen  
 5 durch Umsetzung von verbrückten oder nicht-verbrückten Übergangsmetallaromatkomplexen der allgemeinen Formel I



in der die Substituenten und Indizes folgende Bedeutung haben:

- 20 M Titan, Zirkonium, Hafnium, Vanadium, Niob, Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, sowie Elemente der III. Nebengruppe des Periodensystems und der Lanthanoiden,
- 25 X gleich oder verschieden Fluor, Chlor, Brom, Iod, Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, -OR<sup>10</sup> oder -NR<sup>10</sup>R<sup>11</sup>,
- 30 n eine ganze Zahl zwischen 1 und 4, wobei n der Wertigkeit von M minus der Zahl 2 entspricht,
- 35 R<sup>1</sup>, R<sup>8</sup> gleich oder verschieden Fluor, Chlor, Brom, Iod, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Rest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl,
- 40
- 45

## 41

wobei die genannten Reste teilweise oder vollständig mit Heteroatomen substituiert sein können,

5                    $-OR^{27}$ ,  $-SR^{27}$ ,  $-N(R^{27})_2$ ,  $-P(R^{27})_2$ , mit  $R^{27}$ , gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl oder  $Si(R^{28})_3$  mit  $R^{28}$ , gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cy-

10

$R^2$  bis  $R^7$

gleich oder verschieden Wasserstoff,  $C_1$ - bis  $C_{20}$ -Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das seinerseits ein  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkylrest tragen kann -,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest,  $Si(R^9)_3$  mit  $R^9$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{20}$ -Alkyl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,

15

20

benachbarte Reste  $R^2$  bis  $R^7$  können für 4 bis 15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise gesättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen stehen, und die genannten Reste können vollständig oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein,

25

30

$-OR^{27}$ ,  $-SR^{27}$ ,  $-N(R^{27})_2$ ,  $-P(R^{27})_2$ , mit  $R^{27}$ , gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl oder  $Si(R^{28})_3$  mit  $R^{28}$ , gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl

35

$R^{10}$ ,  $R^{11}$

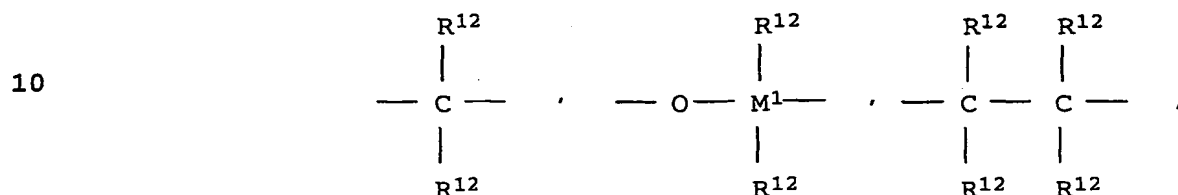
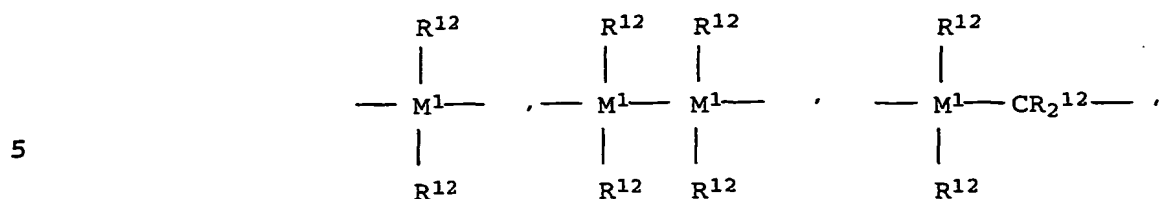
$C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl, Alkylaryl, Arylalkyl, Fluoralkyl oder Fluoraryl mit jeweils 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest,

40

$Y$ ,  $Y^1$

gleich oder verschieden

45



15

= BR<sup>12</sup>, = AlR<sup>12</sup>, -Ge-, -Sn-, -O-, -S-, = SO,  
= SO<sub>2</sub>, = NR<sup>12</sup>, = CO, = PR<sup>12</sup> oder = P(O)R<sup>12</sup>,

wobei

20 R<sup>12</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, Halogen,  
C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Fluoralkyl, C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Fluoraryl,  
C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Aryl, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkoxy, C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkenyl,  
C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkyl, C<sub>8</sub>-C<sub>40</sub>-Arylalkenyl,  
25 C<sub>7</sub>-C<sub>40</sub>-Alkylaryl bedeuten, oder wobei zwei  
Reste R<sup>12</sup> mit den sie verbindenden Atomen  
einen Ring bilden,

M<sup>1</sup> Silicium, Germanium oder Zinn ist und

30 m 0, 1, 2, 3 bedeutet,

oder Y nicht-verbrückend ist und für zwei Reste  
R' und R'' steht, wobei

35 R' und R'' gleich oder verschieden sind und für Wasser-  
stoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod, C<sub>1</sub>- bis  
C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das  
seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Rest tragen  
kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10  
40 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im  
Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen in  
Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest,  
Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis  
C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis  
45 C<sub>15</sub>-Aryl, oder zusammen mit benachbarten Resten  
R<sup>4</sup> oder R<sup>5</sup> für 4 bis 15 C-Atome aufweisende ge-  
sättigte, teilweise gesättigte oder für unge-

## 43

sättigte cyclische Gruppen stehen, und die genannten Rest vollständig oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein können,  $-OR^{27}$ ,  $-SR^{27}$ ,  $-N(R^{27})_2$ ,  $-P(R^{27})_2$ , mit  $R^{27}$ , gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl oder  $Si(R^{28})_3$  mit  $R^{28}$ , gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl

10

mit Cyclopentadienyllderivaten von Alkali- oder Erdalkalimetallen, Erwärmen des so erhaltenen Reaktionsgemisches auf eine Temperatur im Bereich von  $-78$  bis  $250^\circ C$ , gegebenenfalls unter Zusatz von Radikalen oder Radikalbildnern und gegebenenfalls anschließende Substitution des verbrückten phenolischen Liganden oder der beiden nicht verbrückten phenolischen Liganden zum Mono- oder Bissubstitutionsprodukt.

15

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei  $R^1$  und  $R^8$  in Formel I sperrige Substituenten sind.

20

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 2, wobei m in Formel I 0 bedeutet.

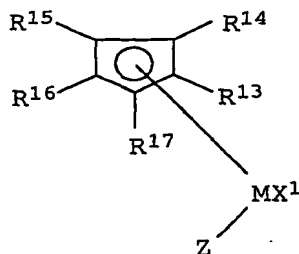
25 4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, wobei  $Y^1$  gleich ist und Sauerstoff bedeutet.

30

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, wobei Cyclopentadienyllderivate des Magnesiums oder des Lithiums verwendet werden.

6. Racemische Metallocenkomplexe der allgemeinen Formel III

35



(III),

40

in der die Substituenten und Indizes folgende Bedeutung haben:

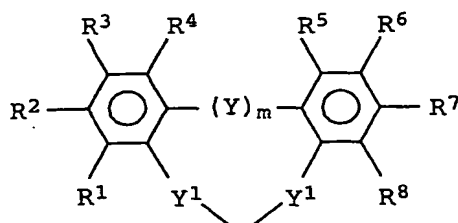
45

M Titan, Zirkonium, Hafnium, Vanadium, Niob,  
Tantal, Chrom, Molybdän, Wolfram, sowie Elemente  
der III. Nebengruppe des Periodensystems und der  
Lanthanoiden,

5

X<sup>1</sup>

10



wobei:

15

R<sup>1</sup>, R<sup>8</sup>

20

25

30

35

40

45

R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup>

gleich oder verschieden Fluor, Chlor, Brom, Iod,  
C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das  
seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als  
Rest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl  
mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis  
20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis  
10 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen  
im Arylrest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder ver-  
schieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cyclo-  
alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl,  
wobei die genannten Reste teilweise oder voll-  
ständig mit Heteroatomen substituiert sein  
können,

-OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich  
oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis  
C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder  
Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>-  
bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cy-  
cloalkyl, Alkylaryl,

gleich oder verschieden Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis  
C<sub>20</sub>-Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das  
seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkylrest tragen  
kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis  
10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen  
im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen im  
Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest,  
Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis  
C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis  
C<sub>15</sub>-Aryl,

benachbarte Reste R<sup>2</sup> bis R<sup>7</sup> können für 4 bis  
15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise ge-

## 45

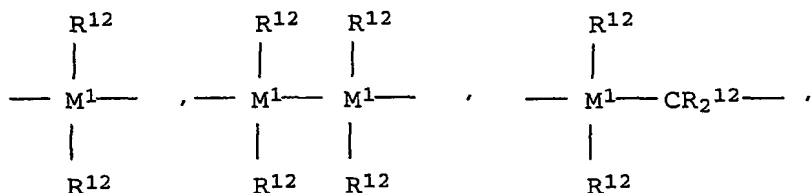
sättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen stehen und die genannten Reste können vollständig oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein,  $-OR^{27}$ ,  $-SR^{27}$ ,  $-N(R^{27})_2$ ,  $-P(R^{27})_2$ , mit  $R^{27}$ ,  
 5 gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl oder  $Si(R^{28})_3$  mit  $R^{28}$ , gleich oder verschieden,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkylaryl,

10

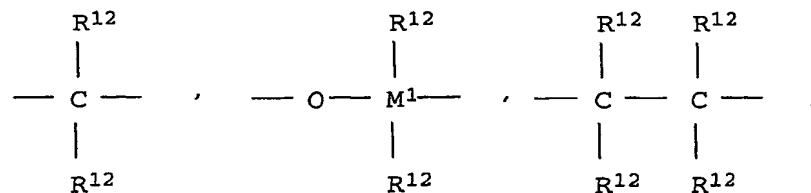
Y, Y<sup>1</sup>

gleich oder verschieden

15



20



25

=  $BR^{12}$ , =  $AlR^{12}$ , -Ge-, -Sn-, -O-, -S-, = SO,  
 =  $SO_2$ , =  $NR^{12}$ , = CO, =  $PR^{12}$  oder =  $P(O)R^{12}$ ,

wobei

30

 $R^{12}$ 

gleich oder verschieden Wasserstoff, Halogen,  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkyl,  $C_1$ - $C_{10}$ -Fluoralkyl,  $C_6$ - $C_{10}$ -Fluoraryl,  $C_6$ - $C_{10}$ -Aryl,  $C_1$ - $C_{10}$ -Alkoxy,  $C_2$ - $C_{10}$ -Alkenyl,  $C_7$ - $C_{40}$ -Arylalkyl,  $C_8$ - $C_{40}$ -Arylalkenyl,  $C_7$ - $C_{40}$ -Alkylaryl bedeuten, oder wobei zwei  
 35 Reste  $R^{12}$  mit den sie verbindenden Atomen einen Ring bilden,

 $M^1$ 

Silicium, Germanium oder Zinn ist und

40

m

0, 1, 2, 3 bedeutet,

oder Y nicht-verbrückend ist und für zwei Reste  $R'$  und  $R''$  steht, wobei

45

 $R'$  und  $R''$ 

gleich oder verschieden sind und für Wasserstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod,  $C_1$ - bis  $C_{20}$ -Alkyl, 3- bis 8-gliedriges Cycloalkyl - das

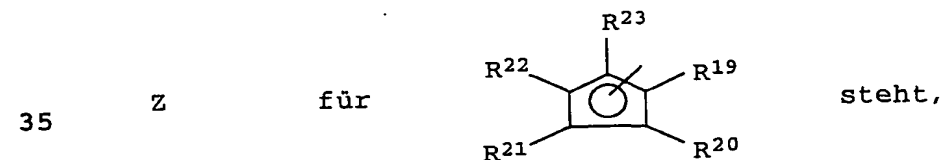


## 46

seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Rest tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Arylalkyl mit 1 bis 10 C-Atomen in Alkylrest und 6 bis 20 C-Atomen im Arylrest, Si(R<sup>9</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>9</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, oder zusammen mit benachbarten Resten R<sup>4</sup> oder R<sup>5</sup> für 4 bis 15 C-Atome aufweisende gesättigte, teilweise gesättigte oder für ungesättigte cyclische Gruppen stehen, und die genannten Rest vollständig oder teilweise mit Heteroatomen substituiert sein können, -OR<sup>27</sup>, -SR<sup>27</sup>, -N(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, -P(R<sup>27</sup>)<sub>2</sub>, mit R<sup>27</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl oder Si(R<sup>28</sup>)<sub>3</sub> mit R<sup>28</sup>, gleich oder verschieden, C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl, C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl, Alkylaryl,

R<sup>13</sup> bis R<sup>17</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 5- bis 7-gliedriges Cycloalkyl, - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Substituent tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl oder Arylalkyl, wobei benachbarte Reste gemeinsam für 4 bis 15 C-Atome aufweisende cyclische Gruppen stehen können, oder Si(R<sup>18</sup>)<sub>3</sub> mit

R<sup>18</sup> gleich oder verschieden C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl oder C<sub>3</sub>- bis C<sub>10</sub>-Cycloalkyl,



wobei die Reste

R<sup>19</sup> bis R<sup>23</sup> gleich oder verschieden Wasserstoff, C<sub>1</sub>- bis C<sub>20</sub>-Alkyl, 5- bis 7-gliedriges Cycloalkyl, - das seinerseits ein C<sub>1</sub>- bis C<sub>10</sub>-Alkyl als Substituent tragen kann -, C<sub>6</sub>- bis C<sub>15</sub>-Aryl oder Arylalkyl bedeuten, wobei benachbarte Reste gemeinsam für 4 bis 15 C-Atome aufweisende cyclische Gruppen stehen können, oder Si(R<sup>24</sup>)<sub>3</sub> mit

## 47

$R^{24}$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  
 $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl oder  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl,

oder wobei die Reste

5

$R^{16}$  und Z gemeinsam eine Gruppierung  $-[T(R^{25})(R^{26})]_q-E$ -  
 bilden, in der

10

T gleich oder verschieden sein kann und für  
 Silicium, Germanium, Zinn oder Kohlenstoff  
 steht,

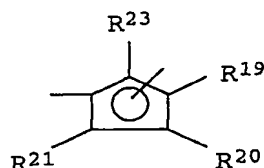
$R^{25}$ ,  $R^{26}$  für Wasserstoff,  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_3$ - bis  
 $C_{10}$ -Cycloalkyl oder  $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl

15

q für die Zahlen 1, 2, 3 oder 4,

20

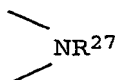
E für



oder A steht, wobei A  $—O—$ ,

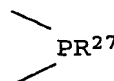
25

$—S—$ ,



$NR^{27}$

oder



$PR^{27}$

bedeutet,

30

mit  $R^{27}$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  
 $C_6$ - bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl, Alkyl-  
 aryl oder  $Si(R^{28})_3$

35

mit  $R^{28}$  gleich oder verschieden  $C_1$ - bis  $C_{10}$ -Alkyl,  $C_6$ -  
 bis  $C_{15}$ -Aryl,  $C_3$ - bis  $C_{10}$ -Cycloalkyl oder Alkyl-  
 aryl.

7. Racemische Metallocenkomplexe nach Anspruch 6, wobei  $R^{17}$   
 und  $R^{23}$  nicht Wasserstoff bedeuten, wenn  $R^{16}$  und Z gemeinsam  
 eine Gruppierung  $-[T(R^{25})(R^{20})]_q-E$  bilden.

40

8. Verwendung von racemischen Metallocenkomplexen gemäß den  
 Ansprüchen 6 bis 7 als Katalysatoren oder als Bestandteil  
 von Katalysatoren für die Polymerisation von olefinisch  
 ungesättigten Verbindungen oder als Reagenzien oder  
 Katalysatoren in der stereoselektiven Synthese.

45

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internal Application No

PCT/EP 01/07389

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 C07F17/00 C07B31/00 C08F4/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 C07F C07B C08F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

CHEM ABS Data, EP0-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	ENGELHARDT, LUTZ M. ET AL: "Axially asymmetric metal alkyls. Part 5. Synthesis and reduction to zirconium(III) species of Group 4 metallocenes 'ML(.eta.-C5H5)2! 'L = (2-CHRC6H4)22-, R = H, M = Ti, Zr, or Hf!, isomers of 'ZrL(.eta.-C5H5)2! (R = SiMe3), and meso-'M'1,8-(CHSiMe3)2C10H6!(.eta.-C5H5)2! (M = Zr or Hf); x-ray crystal"	6,7
A	J. CHEM. SOC., DALTON TRANS., no. 10, 1987, pages 2347-2357, XP001024875 page 2348 --- -/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 October 2001

Date of mailing of the international search report

29/10/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bader, K

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 01/07389

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HUTTENLOCH, MONIKA E. ET AL: "ansa-Metallocene derivatives. XXXIX. Biphenyl-bridged metallocene complexes of titanium, zirconium, and vanadium: syntheses, crystal structures and enantioseparation" J. ORGANOMET. CHEM., vol. 541, no. 1-2, 1997, pages 219-232, XP004093720	6,7
A	* Schema 6 * page 225	1
X	SCHMIDT ET AL: "photochemical isomerization of me <sub>2</sub> si-bridged zirconocene complexes. application to stereoselective synthesis of ansa-zirconocene binaphtholate stereoisomers" ORGANOMETALLICS, WASHINGTON, DC, US, vol. 16, no. 8, 15 April 1997 (1997-04-15), pages 1724-1728, XP002089634 ISSN: 0276-7333	6,7
A	page 1725	1
X	WILLOUGHBY, CHRISTOPHER A. ET AL: "Catalytic Asymmetric Hydrogenation of Imines with a Chiral Titanocene Catalyst: Kinetic and Mechanistic Investigations" J. AM. CHEM. SOC., vol. 116, no. 26, 1994, pages 11703-11714, XP001030671 page 11708	6-8
X	HERON, NICOLA M. ET AL: "Stereoselective Heteroatom-Assisted Allylic Alkylation of Cyclic Allylic Ethers with Grignard Reagents. A Convenient Route to Enantiomerically Pure Carbocycles" J. AM. CHEM. SOC. (1997), 119(26), 6205-6206 , vol. 119, no. 26, 1997, pages 6205-6206, XP001032921 the whole document	6-8
X	XU, ZHONGMIN ET AL: "Applications of Zr-Catalyzed Carbo-Magnesation and Mo-Catalyzed Macrocyclic Ring Closing Metathesis in Asymmetric Synthesis. Enantioselective Total Synthesis of Sch 38516 (Fluvirucin B1)" J. AM. CHEM. SOC. (1997), 119(43), 10302-10316 , vol. 119, no. 43, 1997, pages 10302-10316, XP001032951 page 10305	6-8

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter national Application No

PCT/EP 01/07389

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	XIN, SHIXUAN ET AL: "Enantioselective hydrosilation of ketones in the presence of an S,S-'1,2-bis(tetrahydroindenyl)ethane!titanium catalyst" CAN. J. CHEM., vol. 73, no. 3, 1995, pages 999-1002, XP001030670 page 1001 -----	6-8
X	WO 92 09545 A (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY) 11 June 1992 (1992-06-11) cited in the application page 15, line 16 - line 20 -----	6-8
X	WO 95 02567 A (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY) 26 January 1995 (1995-01-26) page 15 -page 18; examples 9-14 -----	6-8
X	EP 0 970 964 A (SUMITOMO CHEMICAL CO) 12 January 2000 (2000-01-12) page 37; examples 8-10 -----	6-8

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/07389

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9209545	A	11-06-1992	US 5286878 A	15-02-1994
			US 5227538 A	13-07-1993
			US 5292893 A	08-03-1994
			US 5220020 A	15-06-1993
			AT 136878 T	15-05-1996
			CA 2096747 A1	22-05-1992
			DE 69118906 D1	23-05-1996
			EP 0558656 A1	08-09-1993
			JP 6502867 T	31-03-1994
			US 5442119 A	15-08-1995
			WO 9209545 A2	11-06-1992
			US 5489682 A	06-02-1996
WO 9502567	A	26-01-1995	US 5442119 A	15-08-1995
			US 5489682 A	06-02-1996
			AU 7324694 A	13-02-1995
			WO 9502567 A1	26-01-1995
			US 5491233 A	13-02-1996
EP 0970964	A	12-01-2000	JP 2000086679 A	28-03-2000
			JP 2000086678 A	28-03-2000
			EP 0970964 A2	12-01-2000
			JP 2000119287 A	25-04-2000
			US 6090961 A	18-07-2000

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter. nales Aktenzeichen

PCT/EP 01/07389

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 C07F17/00 C07B31/00 C08F4/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 C07F C07B C08F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

CHEM ABS Data, EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	ENGELHARDT, LUTZ M. ET AL: "Axially asymmetric metal alkyls. Part 5. Synthesis and reduction to zirconium(III) species of Group 4 metallocenes 'ML(.eta.-C5H5)2! 'L = (2-CHRC6H4)22-, R = H, M = Ti, Zr, or Hf!, isomers of 'ZrL(.eta.-C5H5)2! (R = SiMe3), and meso-'M'1,8-(CHSiMe3)2C10H6!(.eta.-C5H5)2! (M = Zr or Hf);x-ray crystal" J. CHEM. SOC., DALTON TRANS., Nr. 10, 1987, Seiten 2347-2357, XP001024875	6,7
A	Seite 2348 --- -/--	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. Oktober 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/10/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Bader, K

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	HUTTENLOCH, MONIKA E. ET AL: "ansa-Metallocene derivatives. XXXIX. Biphenyl-bridged metallocene complexes of titanium, zirconium, and vanadium: syntheses, crystal structures and enantioseparation" J. ORGANOMET. CHEM., Bd. 541, Nr. 1-2, 1997, Seiten 219-232, XP004093720	6,7
A	* Schema 6 * Seite 225	1
X	SCHMIDT ET AL: "photochemical isomerization of me <sub>2</sub> si-bridged zirconocene complexes. application to stereoselective synthesis of ansa-zirconocene binaphtholate stereoisomers" ORGANOMETALLICS, WASHINGTON, DC, US, Bd. 16, Nr. 8, 15. April 1997 (1997-04-15), Seiten 1724-1728, XP002089634 ISSN: 0276-7333	6,7
A	Seite 1725	1
X	WILLOUGHBY, CHRISTOPHER A. ET AL: "Catalytic Asymmetric Hydrogenation of Imines with a Chiral Titanocene Catalyst: Kinetic and Mechanistic Investigations" J. AM. CHEM. SOC., Bd. 116, Nr. 26, 1994, Seiten 11703-11714, XP001030671 Seite 11708	6-8
X	HERON, NICOLA M. ET AL: "Stereoselective Heteroatom-Assisted Allylic Alkylation of Cyclic Allylic Ethers with Grignard Reagents. A Convenient Route to Enantiomerically Pure Carbocycles" J. AM. CHEM. SOC. (1997), 119(26), 6205-6206 , Bd. 119, Nr. 26, 1997, Seiten 6205-6206, XP001032921 das ganze Dokument	6-8
X	XU, ZHONGMIN ET AL: "Applications of Zr-Catalyzed Carbo-Magnesation and Mo-Catalyzed Macrocyclic Ring Closing Metathesis in Asymmetric Synthesis. Enantioselective Total Synthesis of Sch 38516 (Fluvirucin B1)" J. AM. CHEM. SOC. (1997), 119(43), 10302-10316 , Bd. 119, Nr. 43, 1997, Seiten 10302-10316, XP001032951 Seite 10305	6-8

-/--



## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	XIN, SHIXUAN ET AL: "Enantioselective hydrosilation of ketones in the presence of an S,S-'1,2-bis(tetrahydroindenyl)ethane!titanium catalyst" CAN. J. CHEM., Bd. 73, Nr. 3, 1995, Seiten 999-1002, XP001030670 Seite 1001 -----	6-8
X	WO 92 09545 A (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY) 11. Juni 1992 (1992-06-11) in der Anmeldung erwähnt Seite 15, Zeile 16 - Zeile 20 -----	6-8
X	WO 95 02567 A (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY) 26. Januar 1995 (1995-01-26) Seite 15 -Seite 18; Beispiele 9-14 -----	6-8
X	EP 0 970 964 A (SUMITOMO CHEMICAL CO) 12. Januar 2000 (2000-01-12) Seite 37; Beispiele 8-10 -----	6-8

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung

die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/07389

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9209545	A	11-06-1992	US 5286878 A 15-02-1994
			US 5227538 A 13-07-1993
			US 5292893 A 08-03-1994
			US 5220020 A 15-06-1993
			AT 136878 T 15-05-1996
			CA 2096747 A1 22-05-1992
			DE 69118906 D1 23-05-1996
			EP 0558656 A1 08-09-1993
			JP 6502867 T 31-03-1994
			US 5442119 A 15-08-1995
			WO 9209545 A2 11-06-1992
			US 5489682 A 06-02-1996
WO 9502567	A	26-01-1995	US 5442119 A 15-08-1995
			US 5489682 A 06-02-1996
			AU 7324694 A 13-02-1995
			WO 9502567 A1 26-01-1995
			US 5491233 A 13-02-1996
EP 0970964	A	12-01-2000	JP 2000086679 A 28-03-2000
			JP 2000086678 A 28-03-2000
			EP 0970964 A2 12-01-2000
			JP 2000119287 A 25-04-2000
			US 6090961 A 18-07-2000